

THREE-DIMENSIONAL SHAPE MEASUREMENT METHOD AND DEVICE AND RECORD MEDIUM

Publication number: JP2001012925

Publication date: 2001-01-19

Inventor: ISHIYAMA RUI

Applicant: NIPPON ELECTRIC CO

Classification:

- International: G01B11/00; G01B11/24; G01B11/245; G01B11/25; G01B11/255; G06T1/00; G01B11/00; G01B11/24; G06T1/00; (IPC1-7): G01B11/24; G01B11/00; G01B11/245; G01B11/25; G06T7/00

- European: G01B11/255

Application number: JP20000082414 20000323

Priority number(s): JP20000082414 20000323; JP19990123687 19990430

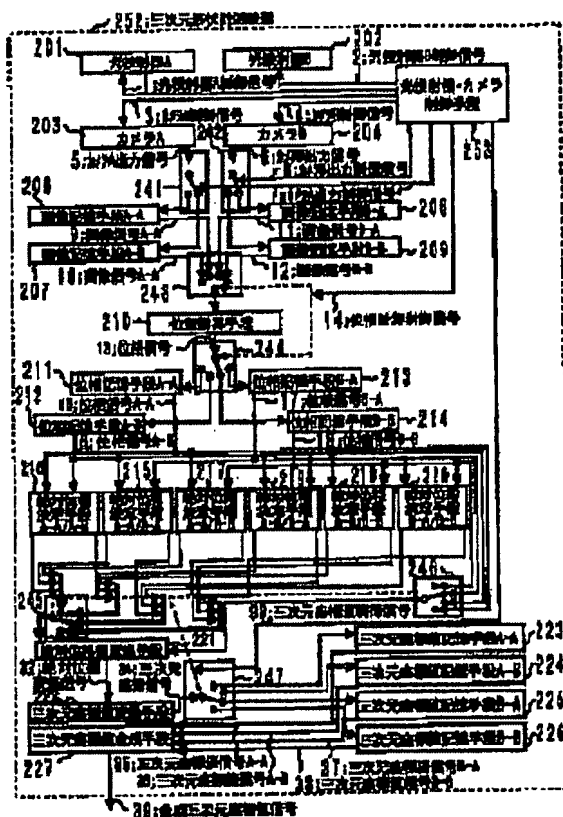
Also published as:

US6421629 (B1)

Report a data error here

Abstract of JP2001012925

PROBLEM TO BE SOLVED: To achieve practical three-dimensional shape measurement by combining at least one light source and a camera. **SOLUTION:** A control means 253 repeats a processing for picking up an image with cameras 203 and 204 by shifting the phase value of a sinusoidal wave light pattern from light projectors 201 and 202 by $2\pi/4$ at a time for four times, a phase calculation means 210 inputs an image signal and outputs a phase signal 13 for each pixel from an image group that is shot by the sinusoidal wave light pattern with a different phase, absolute phase determination means 215-220 input two of phase signals 15-18, determine the absolute phase value of a pixel position for determining the absolute phase, and outputs the absolute phase signal, and an absolute phase conversion means 221 inputs a phase signal and an absolute phase signal that are switched by a three-dimensional coordinates calculation control signal 33, refers to the absolute phase signal, and converts the phase value at the pixel position where the absolute phase in the phase signal has not been determined is converted to an absolute phase, a three-dimensional coordinates conversion means 222 inputs an absolute phase conversion signal 32 and a three-dimensional coordinates calculation control signal 33 and outputs a three-dimensional coordinates signal 34, and a three-dimensional coordinates synthesis means 226 inputs three-dimensional coordinates signals 35-38, synthesizes four shape information, and outputs a synthesis three-dimensional coordinates signal 39.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-12925

(P2001-12925A)

(43) 公開日 平成13年1月19日 (2001. 1. 19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト* (参考)
G 0 1 B	11/24	G 0 1 B	11/24
	11/00		11/00
	11/25		11/24
	11/245		
G 0 6 T	7/00	G 0 6 F	15/62
			4 1 5
		審査請求 有	請求項の数51 O L (全 47 頁)

(21) 出願番号 特願2000-82414(P2000-82414)

(22) 出願日 平成12年3月23日 (2000. 3. 23)

(31) 優先権主張番号 特願平11-123687

(32) 優先日 平成11年4月30日 (1999. 4. 30)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 石山 豊

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内

(74) 代理人 100080816

弁理士 加藤 朝道

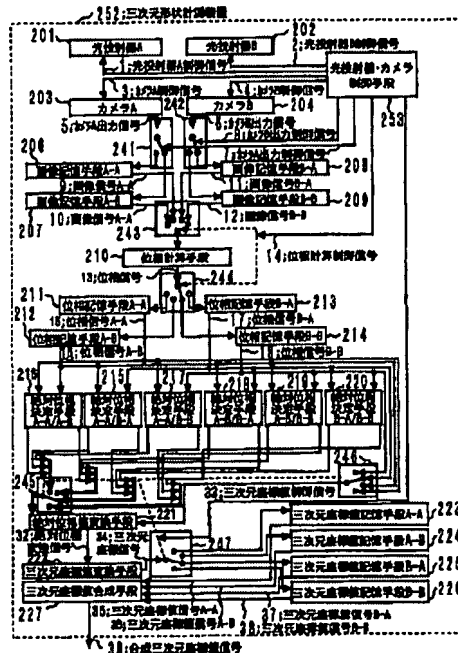
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元形状計測方法及び装置並びに記録媒体

(57) 【要約】

【課題】一つ以上の光源とカメラを組み合わせることによって実用的な三次元形状計測を実現可能とする装置の提供。

【解決手段】制御手段253は光投射器201、202からの正弦波光パターンの位相値を $2\pi/4$ ずつずらしカメラ203、204で画像撮影する処理を計4回繰り返し、位相計算手段210は画像信号9~12を入力し異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像群から画素毎に位相信号13を出力し、絶対位相決定手段215~220は位相信号15~18の二つを入力し絶対位相が決定可能な画素位置の絶対位相値を決定し絶対位相信号20~31を出力し、絶対位相変換手段221は三次元座標計算制御信号33で切替られる位相信号と絶対位相信号を入力し絶対位相信号を参照し位相信号中の絶対位相が未決定の画素位置の位相値を絶対位相へと変換し、三次元座標変換手段222は、絶対位相変換信号32と三次元座標計算制御信号33を入力し三次元座標信号34を出力し、三次元座標合成手段226は三次元座標信号35~38を入力とし4つの形状情報を合成して合成三次元座標信号39を出力する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】(a)空間的に縞状の輝度分布を有する光パターンを光投射手段から位相をずらしながら被計測物体へ投射する工程と、

(b)前記光パターンを位相をずらしながら照射した前記被計測物体を二つの異なる方向から撮像手段でそれぞれ撮像する工程と、

(c)前記二つの方向からそれぞれ撮像された第1、及び第2の画像列から各々について第1、及び第2の初期位相画像を導出する工程と、

(d)前記光パターンの投射位置と第1の撮像位置とを基に、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、

(e)前記光パターンの投射位置と第2の撮像位置とを基に、前記第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定する工程と、

(f)一意に決定された画素位置に基づき三次元座標位置を求め、前記第1、及び第2の初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、

(g)前記(d)乃至(f)の工程を、前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す工程と、

(h)前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、前記第1、及び第2の初期位相画像から第1、及び第2の絶対位相画像へ変換する工程と、

(i)前記第1、及び第2の絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記光パターンの投射位置と前記第1、及び第2の画像の撮像位置とを基に、各画素における前記被計測物体の三次元座標位置を求める工程と、を含むことを特徴とする三次元形状計測方法。

【請求項2】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程(f)において、

(1)前記光パターンの投射位置と前記第1の撮像位置を基に、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(2)前記第2の撮像位置を基に、前記第2の初期位相画像において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定する工程と、

(3)前記光パターンの投射位置と前記第2の撮像位置とを基に、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(4)前記第1の撮像位置を基に、前記第1の初期位相

画像において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の初期位相画像における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるか否かを判定する工程と、

(5)前記両工程(2)、(4)により、一意に決定された画素位置により三次元座標位置を求め、前記第1、第2の初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、

10 (6)前記工程(1)乃至(5)を、前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す工程と、を含むことを特徴とする、請求項1に記載の三次元形状計測方法。

【請求項3】前記被計測物体を三つ以上の異なる方向から撮像手段で撮像する工程を含むことを特徴とする、請求項1又は2記載の三次元形状計測方法。

【請求項4】(a)二つの異なる方向から光投射手段よりそれぞれ空間的に縞状の輝度分布を持つ第1、及び第2の光パターンを位相をずらしながら被計測物体へと投射する工程と、

(b)前記第1の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を撮像手段で撮像した後、前記第2の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を撮像する工程と、

(c)前記第1、及び第2の光パターンにより撮像された第1、第2の画像列から、それぞれについて第1、第2の初期位相画像を導出する工程と、

(d)前記第1の光パターンの投射位置と撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、

(e)前記第2の光パターンの照射位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否かを判定する工程と、

(f)一意に決定された三次元座標位置から、前記第1、及び第2の光パターンの初期位相の絶対値を決定する工程と、

40 (g)前記(d)乃至(f)の工程を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す工程と、

(h)前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、前記第1、及び第2の初期位相画像から第1、及び第2の絶対位相画像へ変換する工程と、

(i)前記第1、及び第2の絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記二つの光パターン投射位置と画像撮像位置を基に、各画素における前記被計測物体の三次元座標位置を求める工程と、を含むことを特徴とする三次元形状計測方法。

50 【請求項5】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定

する工程(f)において、

(1)前記第1の光パターンの投射位置と撮像位置とを
 基に、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期
 位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め
 る工程と、

(2)前記第2の光パターンの照射位置と前記第1の三
 次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、
 前記第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位
 相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか
 否かを判定する工程と、

(3)前記第2の光パターンの投射位置と撮像位置とを
 基に、前記第2の初期位相画像における注目画素の初期
 位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め
 る工程と、

(4)前記第1の光パターンの照射位置と前記第2の三
 次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、
 前記第1の初期位相画像における前記注目画素の初期位
 相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるか
 否かを判定する工程と、

(5)前記両工程(2)、(4)により一意に決定され
 た三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の
 絶対値を決定する工程と、

(6)前記工程(1)乃至(5)を、前記第1の初期位
 相画像の全画素について繰り返す工程と、
 を含むことを特徴とする、請求項4記載の三次元形状計
 測方法。

【請求項6】三つ以上の異なる方向からそれぞれ、光投
 射手段により、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パター
 ンを、位相をずらしながら前記被計測物体へと投射する
 工程を有することを特徴とする、請求項4又は5記載の
 三次元形状計測方法。

【請求項7】(a)二つの異なる方向から光投射手段よ
 りそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ第1、及び
 第2の光パターンを位相をずらしながら被計測物体へと
 投射する工程と、

(b)前記第1の光パターンを位相をずらしながら照射
 し前記被計測物体を二つの異なる方向から第1、及び第
 2の撮像手段で撮像した後、前記第2の光パターンを位
 相をずらしながら照射し同様に二つの異なる方向から前
 記第1、及び第2の撮像手段でそれぞれ前記被計測物体
 を撮像する工程と、

(c)前記第1の光パターンによりそれぞれ二つの方向
 から撮像された第1、及び第2の画像列から、それぞれ
 について第1、及び第2の初期位相画像を導出する工程
 と、

(d)前記第2の光パターンにより前記第1、及び第2
 の撮像手段でそれぞれ二つの方向から撮像された第3、
 及び第4の画像列から、それぞれについて第3、及び第
 4の初期位相画像を導出する工程と、

(e)前記第1の光パターンの投射位置と第1の撮像位

置とを基にして、前記第1の光パターンにより前記第1
 の撮像位置から得られた前記第1の初期位相画像におけ
 る注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標
 位置候補群を求める工程と、

(f)前記第2の撮像位置を基にして、前記第2の光パ
 ターンにより第2の撮像位置から得られた第4の初期位
 相画像における第1の三次元座標位置候補群の対応画素
 位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次
 元座標位置候補群を求める工程と、

10 (g)前記第1、及び第2の三次元座標位置候補群を比
 較し、重複する座標点が一意に決定できるか否かを判定
 する工程と、

(h)一意に決定された三次元座標位置から、前記第
 1、及び第2の光パターンの初期位相の絶対値を決定す
 る工程と、

(i)前記(e)乃至(h)の工程を前記第1の初期位
 相画像の全画素について繰り返す工程と、

(j)前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しなが
 ら、前記第1乃至第4の初期位相画像から第1乃至第4
 20 の絶対位相画像へ変換する工程と、

(k)前記第1乃至第4の絶対位相画像の各画素におけ
 る絶対位相と、前記第1、及び第2の光パターンの投射
 位置と第1、及び第2の撮像位置を基に、各画素におけ
 る被計測物体の三次元座標位置を求める工程と、
 を含むことを特徴とする三次元形状計測方法。

【請求項8】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定
 する工程(h)において、

(1)前記第1の光パターンの投射位置と前記第1の撮
 像位置とを基に、前記第1の光パターンにより第1の撮
 像位置から得られた第1の初期位相画像における注目画
 素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補
 群を求める工程と、

(2)前記第2の撮像位置とを基に、前記第2の光パ
 ターンにより前記第2の撮像位置から得られた第4の初期
 位相画像における前記第1の三次元座標位置候補群の対
 応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2
 の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(3)前記第1、及び第2の三次元座標位置候補群を比
 較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定
 する工程と、

(4)第2の撮像位置を基に、一意に決定された三次元
 座標位置に対応する画素の初期位相から、対応する第3
 の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(5)前記第1の撮像位置を基にして、前記第2の光パ
 ターンにより前記第2の撮像位置から得られた前記第1
 の初期位相画像における前記第3の三次元座標位置候補
 群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相か
 ら第4の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(6)前記第3、及び第4の三次元座標位置候補群を比
 較し、重複する座標点が一意に決定できるか否かを判定す
 50

る工程と、

(7) 一意に決定された三次元座標位置から、第1、及び第2の光パターンの初期位相の絶対値を決定する工程と、

(8) 前記工程(1)乃至(7)を、前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す工程と、
を含むことを特徴とする、請求項7記載の三次元形状計測方法。

【請求項9】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程(h)において、

(1) 前記第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置とを基に、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、

(2) 前記第2の撮像位置を基にして、前記第1の光パターンにより前記第2の撮像位置から得られた前記第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否か判定する工程と、

(3) 一意に決定された画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、

(4) 前記工程(1)乃至(3)を、前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す工程と、
を含むことを特徴とする、請求項7記載の三次元形状計測方法。

【請求項10】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程(h)において、

(1) 前記第1の光パターン投射位置と前記第1の撮像位置とを基に、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(2) 前記第2の撮像位置を基に、前記第1の光パターンにより前記第2の撮像位置から得られた前記第2の初期位相画像において、前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否か判定する工程と、

(3) 前記第1の光パターンの投射位置と前記第2の撮像位置とを基に、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(4) 第1の撮像位置を基に、前記第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第1の初期位相画像において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の初期位相画像における一意に決定された画素の初期位相と

10 【請求項11】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程(h)において、

(1) 前記第1の光パターンの投射位置と前記第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、

(2) 前記第2の光パターンの照射位置と前記三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の光パターンにより前記第1の撮像位置から得られた第3の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否か判定する工程と、

(3) 一意に決定された三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、

(4) 前記(1)乃至(3)の工程を、前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返し初期位相の絶対値を決定する工程と、
を含むことを特徴とする、請求項7記載の三次元形状計測方法。

30 【請求項12】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程(h)において、

(1) 前記第1の光パターンの投射位置と前記第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(2) 前記第2の光パターンの照射位置と前記第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の光パターンにより前記第1の撮像位置から得られた第3の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否か判定する工程と、

(3) 前記第2の光パターンの投射位置と前記第1の撮像位置を基にして、前記第3の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(4) 前記第1の光パターンの照射位置と前記第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の光パターンにより前記第1の撮像位置から得られた前記第1の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定で

きるか否か判定する工程と、

(5) 両工程(2)、(4)により一意に決定された三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、

(6) 前記(1)乃至(5)を、前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返すことを特徴とする、請求項7記載の三次元形状計測方法。

【請求項13】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程(h)において、請求項7乃至12のいずれかに記載の初期位相の絶対値を決定する工程を複数組み合わせる、ことを特徴とする請求項7記載の三次元形状計測方法。

【請求項14】三つ以上の異なる方向からそれぞれ、光投射手段により、空間的に縞状の輝度分布を有する光パターンを、位相をずらしながら前記被計測物体へと投射する工程を含むことを特徴とする、請求項7乃至13のいずれかに記載の三次元形状計測方法。

【請求項15】三つ以上の異なる方向から前記被計測物体を撮像する工程を含むことを特徴とする、請求項7乃至14のいずれかに記載の三次元形状計測方法。

【請求項16】投射する光パターンが、正弦波状であることを特徴とする、請求項1乃至15のいずれかに記載の三次元形状計測方法。

【請求項17】光投射手段制御信号を入力とし、空間的に縞状の輝度分布を有する光パターンを、前記光投射制御信号に応じて位相をずらしながら被計測物体へ投射する光投射手段と、

第1、及び第2のカメラ制御信号をそれぞれ入力とし、前記第1、及び第2の制御信号に応じて計測物体を二つの異なる方向から撮像し、それぞれ第1、及び第2のカメラ出力信号としてそれぞれ出力する第1、及び第2のカメラと、

前記第1、及び第2のカメラ出力信号をそれぞれ入力とし、撮像された画像を記録するとともに、第1、及び第2の画像信号としてそれぞれ出力する第1、及び第2の画像記憶手段と、

位相計算制御信号により切り替えられる、前記第1又は第2の画像信号を入力とし、入力した画像信号の画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段と、

前記位相計算制御信号により振り分けられる前記位相信号を入力とし、前記第1、及び第2の画像信号から計算した位相値を記録するとともに、第1、及び第2の位相信号としてそれぞれ出力する第1、及び第2の位相記憶手段と、

前記第1、及び第2の位相信号を入力とし、前記光投射手段と前記第1のカメラの位置とを基にして、前記第1の位相信号における注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラの位置を基にして、前記第2の位相信号において前記三次元座標

位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、第1の初期位相信号における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定し、一意に決定された画素位置により三次元座標位置を求め、前記第1、第2の位相信号における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理を、前記第1の位相信号の全画素について繰り返し、前記第1の位相信号に対応して第1の絶対位相信号を出力し、前記第2の位相信号に対応して第2の絶対位相信号を出力する絶対位相決定手段と、

三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記第1又は第2の絶対位相信号と、前記第1又は第2位相信号を入力とし、前記第1又は第2の位相信号中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定されている画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定する処理を、前記三次元座標計算信号により切り替えられる前記第1又は第2の位相信号の全画素について繰り返し、それぞれ、第1又は第2の絶対位相交換信号として出力する絶対位相交換手段と、

前記三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記第1又は第2絶対位相交換信号を入力とし、前記光投射手段と前記第1又は第2のカメラの位置を基にして三次元座標値へと変換し、第1又は第2の三次元座標信号として出力する三次元座標変換手段と、
前記第1、及び第2の三次元座標信号を入力とし、それぞれの第1、及び第2のカメラに対応する三次元座標値を記録するとともに、第1、及び第2の三次元座標信号としてそれぞれ出力する第1、及び第2の三次元座標記憶手段と、

前記第1、及び第2の三次元座標信号を入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段と、
前記光投射手段制御信号、前記第1、及び第2のカメラ制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力し、前記光投射手段から投射される光パターンを位相をずらしながら撮像するとともに、位相計算の入出力、及び三次元座標計算の入出力を制御する制御手段と、

を備えたことを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項18】前記絶対位相決定手段が、
前記第1、及び第2の位相信号と、注目画素位置信号を入力とし、前記光投射手段と前記第1のカメラの位置を基にして、前記第1の位相信号における注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラの位置を基にして、前記第2の位相信号において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の位相信号における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定して、該画素の前記第2の位相信号上における画

素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の手段と、

前記第1、及び第2の位相信号と前記一意決定画素信号とを入力とし、前記光投射手段と前記第2のカメラの位置を基にして、前記第2の位相信号における前記一意決定画素信号における画素位置と初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1のカメラの位置を基にして、前記第1の位相信号において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の位相信号における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定し、

以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に該画素位置により三次元座標位置を求め、

前記第1、第2の位相信号における該当画素の初期位相の絶対値を決定し、前記第1の位相信号に対応して第1の絶対位相信号を、前記第2の位相信号に対応して第2の絶対位相信号を出力する第2の手段と、

前記第1の位相信号の全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の手段と、

を備えたことを特徴とする、請求項17に記載の三次元形状計測装置。

【請求項19】三つ以上の異なる方向から撮像するカメラを備えたことを特徴とする、請求項17又は18記載の三次元形状計測装置。

【請求項20】第1、及び第2の光投射手段制御信号をそれぞれ入力とし、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ第1、及び第2光パターンを、前記第1、及び第2の光投射手段制御信号に応じて位相をずらしながら被計測物体へと投射する第1、及び第2の光投射手段と、

カメラ制御信号を入力とし、前記カメラ制御信号に応じて前記被計測物体を撮像しカメラ出力信号として出力するカメラと、

前記カメラ出力制御信号により切り替えられる、前記カメラ出力信号を入力として、前記第1、及び第2の光パターンにより撮像された画像列を記録するとともに、第1、及び第2の画像信号としてそれぞれ出力する第1、及び第2の画像記憶手段と、

位相計算制御信号により切り替えられる、前記第1又は第2の画像信号を入力とし、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段と、

前記位相計算制御信号により振り分けられる、前記位相信号を入力とし、前記第1、第2の画像信号から計算した位相値を記録するとともに、第1、及び第2の位相信号としてそれぞれ出力する第1、及び第2の位相記憶手段と、

前記第1、及び第2の位相信号を入力とし、前記第1の

10

20

30

40

50

光投射手段と前記カメラの位置を基にして、前記第1の位相信号における注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2の光投射手段の位置と前記三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の位相信号における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否かを判定し、一意に決定された三次元座標位置から、前記第1、及び第2の光パターンの初期位相の絶対値を決定する処理を、前記第1の位相信号の全画素について繰り返し、前記第1の位相信号に対応して第1の絶対位相信号を出力し、前記第2の位相信号に対応して第2の絶対位相信号を出力する絶対位相決定手段と、

三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記第1又は第2の絶対位相信号と、前記第1又は第2の位相信号とを入力とし、前記第1又は第2の位相信号中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定している画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定してゆくことを、前記第1又は第2の位相信号の全画素について繰り返し、それぞれ第1又は第2の絶対位相変換信号として出力する絶対位相変換手段と、

三次元座標計算制御信号により切り替えられる、第1又は第2の絶対位相変換信号を入力とし、前記第1又は第2の光投射手段と前記カメラの位置を基にして、三次元座標値へと変換し、第1又は第2の三次元座標信号として出力する三次元座標変換手段と、

前記第1、及び第2の三次元座標信号を入力とし、それぞれの前記第1、及び第2の光投射手段に対応する三次元座標値を記録するとともに、第1、及び第2の三次元座標信号として出力する第1、及び第2の三次元座標記憶手段と、

前記第1、及び第2の三次元座標信号を入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段と、

前記第1、及び第2の光投射手段制御信号、前記カメラ制御信号、前記カメラ出力制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、前記第1、及び第2の光投射手段を切り替えて位相をずらしながら撮像し、カメラ出力を切り替え、さらに位相計算の入出力を制御し、三次元座標計算の入出力を制御する制御手段と、

を備えていることを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項21】前記絶対位相決定手段が、前記第1、及び第2の位相信号と、注目画素位置信号を入力とし、前記第1の光投射手段と前記カメラの位置を基にして、前記第1の位相信号における注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段と前記第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の位相信号における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初

期位相が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記第2の位相信号上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の手段と、

前記第1、第2の位相信号と前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第2の光投射手段Bと前記カメラAの位置を基にして、前記第2の位相信号における前記一意決定画素信号における初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1の光投射手段と前記第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の位相信号における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記第1の位相信号に対応して第1の絶対位相信号を、前記第2の位相信号に対応して第2の絶対位相信号を出力する第2の手段と、

前記第1の位相信号の全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の手段と、
を含むことを特徴とする、請求項20記載の三次元形状計測装置。

【請求項22】三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する光投射手段を備えたことを特徴とする、請求項20又は21記載の三次元形状計測装置。

【請求項23】第1、及び第2の光投射手段制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ第1、及び第2の光パターンを、前記第1、及び第2の光投射手段制御信号に合わせて位相をずらしながら計測物体へと投射する第1、及び第2の光投射手段A、Bと、

第1、及び第2のカメラ制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、前記第1、及び第2のカメラ制御信号に合わせて計測物体を二つの異なる方向から撮像し、第1、及び第2のカメラ出力信号A、Bとして出力する第1、及び第2のカメラA、Bと、

カメラ出力制御信号により切り替えられる、第1、及び第2のカメラ出力信号A、Bを入力とし、第1、及び第2の光パターンでそれぞれ第1、及び第2のカメラで撮像された画像列として、前記第1の光投射手段と前記第1のカメラ、前記第2の光投射手段と前記第1のカメラ、前記第1の光投射手段と前記第2のカメラ、前記第2の光投射手段と前記第2のカメラの組み合わせよりなる、画像列を記録するとともに、それぞれ、第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bとして出力する第1乃至第4の画像記憶手段と、

位相計算制御信号により切り替えられる、前記第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-AまたはB-Bを入力として、画像列から各画素毎に初期位相値を計算し

て位相信号として出力する位相計算手段と、

位相計算制御信号により切り替えられる、前記位相信号を入力とし、前記第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bから計算した位相値を記録するとともに、第1乃至第4の位相信号A-A、A-B、B-A、B-Bとしてそれぞれ出力する第1乃至第4の位相記憶手段と、

前記第1、第4の位相信号A-A、B-Bを入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラBの位置を基にして、前記第2の光投射手段Bの光パターンにより前記第2のカメラBの位置から得られた前記位相信号B-Bにおける第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1の三次元座標位置候補群と第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定された三次元座標位置から、前記第1、及び第2の光パターンの初期位相の絶対値を決定する処理を、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Bに対応して絶対位相信号B-Bを出力する絶対位相決定手段と、

三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記絶対位相決定手段からの前記絶対位相信号A-AまたはB-Bと、前記位相信号A-AまたはB-Bを入力とし、前記位相信号中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定している画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定してゆく処理を、前記位相信号A-A又はB-Bの全画素について繰り返し、それぞれ絶対位相変換信号A-A又はB-Bとして出力する絶対位相変換手段と、

三次元座標計算制御信号により切り替えられる、絶対位相変換信号A-A又はB-Bを入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラAまたは前記光投射手段Bと前記カメラBの位置を基にして、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号A-A又はB-Bとして出力する三次元座標変換手段と、

前記三次元座標信号A-A又はB-Bを入力とし、それぞれの前記光投射手段Aと前記カメラA又は前記光投射手段Bと前記カメラBに対応する三次元座標値を記録するとともに、三次元座標信号A-A又はB-Bとして出力する第1、及び第2の三次元座標記憶手段A-A、B-Bと、

前記第1、及び第2の三次元座標信号A-A、B-Bを入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段

10

20

30

40

50

と、

前記第1、第2の光投射手段制御信号、前記第1、第2のカメラ制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、光パターンを位相をずらしながら撮像し、位相計算の入出力、及び三次元座標計算の入出力を制御する制御手段と、
を備えたことを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項24】第1、及び第2の光投射手段制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、前記第1、及び第2の光投射手段制御信号に応じて位相をずらしながら計測物体へと投射する第1、及び第2の光投射手段A、Bと、

第1、及び第2のカメラ制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、前記第1、及び第2のカメラ制御信号に応じて計測物体を二つの異なる方向から撮像し、第1、第2のカメラ出力信号(A、B)として出力する第1、及び第2のカメラA、Bと、

カメラ出力制御信号により切り替えられる、第1、及び第2のカメラ出力信号A、Bを入力とし、二つの光パターンでそれぞれ第1、及び第2のカメラで撮像された画像列として、前記第1の光投射手段と前記第1のカメラ、前記第2の光投射手段と前記第1のカメラ、前記第1の光投射手段と前記第2のカメラ、前記第2の光投射手段と前記第2のカメラの組み合わせよりなる、画像列を記録するとともに、それぞれ、第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bとして出力する第1乃至第4の画像記憶手段と、

位相計算制御信号により切り替えられる、前記第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-AまたはB-Bを入力として、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段と、

位相計算制御信号により切り替えられる、前記位相信号を入力とし、前記第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bから計算した位相値を記録するとともに、第1乃至第4の位相信号A-A、A-B、B-A、B-Bとしてそれぞれ出力する第1乃至第4の位相記憶手段と、

位相信号A-Aと位相信号B-Aとを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A(A-A/B-A)、絶対位相信号B-A(A-A/B-A)として出力する第1の絶対位相決定手段と、

位相信号A-Bと位相信号B-Bとを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-B(A-B/B-B)、絶対位相信号B-B(A-B/B-B)として出力する第2の絶対位相決定手段と、

位相信号A-Aと位相信号A-Bとを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定

し、絶対位相信号A-A(A-A/A-B)、絶対位相信号A-B(A-A/A-B)として出力する第3の絶対位相決定手段と、

位相信号B-Aと位相信号B-Bとを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号B-A(B-A/B-B)、絶対位相信号B-B(B-A/B-B)として出力する第4の絶対位相決定手段と、

位相信号A-Aと位相信号B-Bとを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について、画像A(光パターンA)上の絶対位相決定画素とその絶対位相を絶対位相信号A-A(A-A/B-B)として、また画像B(光パターンB)については絶対位相信号B-B(A-A/B-B)として出力する第5の絶対位相決定手段と、

位相信号A-Bと位相信号B-Aとを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について画像A(光パターンB)上の絶対位相決定画素とその絶対位相を絶対位相信号A-B(A-B/B-A)として、また画像B(光パターンA)については絶対位相信号B-A(A-B/B-A)として出力する第6の絶対位相決定手段と、を備え、

三次元座標計算制御信号により切り替えられる位相信号と絶対位相信号とを入力とし、絶対位相信号を参照しながら、位相信号中の絶対位相が得られていない画素位置の位相値を、絶対位相へと変換する絶対位相変換手段であって、

位相信号A-Aと、絶対位相信号A-A(A-A/B-A)、A-A(A-A/A-B)、A-A(A-A/B-B)、

位相信号A-Bと、絶対位相信号A-B(A-A/A-B)、A-B(A-B/B-A)、A-B(A-B/B-B)、

位相信号B-Aと、絶対位相信号B-A(A-A/A-B)、B-A(A-B/B-A)、B-A(B-A/B-B)、

位相信号B-Bと、絶対位相信号B-B(A-A/B-B)、B-B(A-B/B-B)、B-B(B-A/B-B)の各組よりなり、絶対位相が得られている画素は、全ての絶対位相信号の論理積により判定し、絶対位相変換信号として出力する絶対位相変換手段と、

絶対位相変換信号と三次元座標計算制御信号とを入力とし、前記位相信号A-Aから求めた絶対位相である場合、前記第1の光投射手段A、第1のカメラAの位置関係及び内部構成に応じたパラメータにより三次元座標値へと変換して三次元座標信号として出力し、同様に、位相信号A-Bから求めた絶対位相であるならば、前記第2の光投射手段、第1のカメラの位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて三次元座標値へと変換して三次元座標信号として出力し、

位相信号B-Aから求めた絶対位相であるならば、前記第1の光投射手段、第2のカメラBの位置関係や内部構

成に応じたパラメータを用いて三次元座標値へと変換し三次元座標信号として出力し、位相信号B-Bから求めた絶対位相であるならば、前記第2の光投射手段、前記第2のカメラの位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて、三次元座標値へと変換し三次元座標信号として出力する三次元座標変換手段と、

前記三次元座標変換手段で得られた前記第1の光投射手段Aと第1のカメラの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号A-Aとして出力する第1の三次元座標記憶手段と、

前記三次元座標変換手段で得られた前記第2の光投射手段Aと第1のカメラの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号A-Bとして出力する第2の三次元座標記憶手段と、

前記第2の光投射手段Bと前記第1のカメラAの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号B-Aとして出力する第3の三次元座標記憶手段と、

前記第2の光投射手段Bと前記第2のカメラBの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号B-Bとして出力する第4の三次元座標記憶手段と、

三次元座標信号A-A、A-B、B-A、B-Bを入力とし、4つの形状情報を合成して、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段と、

前記第1、及び第2の光投射手段制御信号、前記第1、及び第2のカメラ制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、光パターンを位相をずらしながら撮像するとともに、位相計算の入出力、及び三次元座標計算の入出力を制御する制御手段と、

を備えたことを特徴とする三次元形状計測装置。

【請求項25】前記第1、及び第2の絶対位相決定手段が、光投射手段が一つ、カメラが二つの組における絶対位相の決定である、請求項17記載の前記絶対位相決定手段と同じ処理を行ない、

前記第3、及び第4の絶対位相決定手段が、光投射手段は二つ、カメラが一つの組における絶対位相の決定である、請求項20記載の前記絶対位相決定手段と同じ処理を行なう、ことを特徴とする請求項24記載の三次元形状計測装置。

【請求項26】前記絶対位相決定手段が、

前記位相信号A-A、B-Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラBの位置を基にして、前記第2の光投射手段Bの光パターンにより前記第2のカメラBの位置から得られた前記位相信号B-Bにおける第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から

第2の三次元座標位置候補群を求め、第1、第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、前記位相信号B-B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の手段と、

前記位相信号A-A、B-Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第2のカメラBの位置を基にして、一意に決定できた三次元座標位置に対応する画素の、前記第2の光投射手段Bの光パターンによる初期位相から、

10 対応する第3の三次元座標位置候補群を求め、前記第1のカメラAの位置を基にして、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける第3の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第4の三次元座標位置候補群を求め、第3、第4の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、

前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Bに対応して絶対位相信号B-Bを出力する第2の手段と、

前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段と、を備えたことを特徴とする、請求項23記載の三次元形状計測装置。

【請求項27】前記絶対位相決定手段が、

前記位相信号A-A、B-Aを入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラBの位置を基にして、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第2のカメラBの位置から得られた前記位相信号B-Aにおいて前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、該当画素の初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返す、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Aに対応して絶対位相信号B-Aを出力する、

ことを特徴とする、請求項23記載の三次元形状計測装置。

【請求項28】前記絶対位相決定手段が、

前記位相信号A-A、B-Aと、注目画素位置信号を入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画

素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラBの位置を基にして、前記光投射手段Aの光パターンにより前記第2のカメラBの位置から得られた前記位相信号B-Aにおいて第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号B-A上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の手段と、

前記位相信号A-A、B-Aと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第2のカメラBの位置を基にして、前記位相信号B-Aにおける前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1のカメラAの位置を基に、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおいて第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号B-Aにおける一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に該画素位置により三次元座標位置を求め、前記位相信号A-A、B-Aにおける街頭画素の初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Aに対応して絶対位相信号B-Aを出力する第2の手段と、前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の手段と、

を備えたことを特徴とする特徴とする、請求項23に記載の三次元形状計測装置。

【請求項29】前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、A-Bを入力として、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2の光投射手段Bの位置と前記三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の光投射手段Bの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた三次元座標位置から、該当画素の初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号A-Bに対応して絶対位相信号A-Bを出力する、ことを特徴とする、請求項23記載の三次元形状計測装置。

【請求項30】前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、A-Bと、注目画素位置信号を入

力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2の光投射手段Bの位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の光投射手段Bの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた位相信号A-Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号A-B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の手段と、

前記位相信号A-A、A-Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第2の光投射手段Bと前記第2のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Bにおける注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Aの位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定し、異常の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号A-Bに対応して絶対位相信号A-Bを出力する第2の手段と、

前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の手段と、を備えたことを特徴とする請求項23記載の三次元形状計測装置。

【請求項31】前記絶対位相決定手段が、請求項25乃至30のいずれかに記載の初期位相の絶対値を決定する手段を組み合わせることを特徴とする請求項23記載の三次元形状計測装置。

【請求項32】三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する手段を備えたことを特徴とする、請求項23乃至31のいずれかに記載の三次元形状計測装置。

【請求項33】三つ以上の異なる方向から撮像するカメラを備えたことを特徴とする、請求項23乃至32のいずれかに記載の三次元形状計測装置。

【請求項34】投射する光パターンが、正弦波状であることを特徴とする、請求項16乃至33のいずれかに記載の三次元形状計測装置。

【請求項35】光投射手段から空間的に縞状の輝度分布を有する光パターンを位相をずらしながら被計測物体へ投射し、前記光パターンを位相をずらしながら照射した前記被計測物体を二つの異なる方向から第1、及び第2の撮像手段で撮像したデータから前記被計測物体の三次

元形状を計測する、プログラム制御されるデータ処理装置において、

(a) 前記二つの方向からそれぞれ撮像された第1、及び第2の画像列から各々について第1、及び第2の初期位相画像を導出する処理、

(b) 前記光パターンの投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める処理、

(c) 第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定する処理、

(d) 一意に決定された画素位置に基づき三次元座標位置を求め、前記第1、第2の初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理、

(e) (a)乃至(d)の処理のうち少なくとも三つの処理を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す処理、

(f) 前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、前記第1、第2の初期位相画像から第1、及び第2の絶対位相画像へ変換する処理、及び、

(g) 前記第1、及び第2の絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記光パターン投射位置と前記第1、及び第2の画像の撮像位置を基に、各画素における前記被計測物体の三次元座標位置を求める処理、
の前記(a)乃至(g)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項36】請求項35記載の記録媒体において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する処理

(d)が、

(1) 光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求める処理、

(2) 前記第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定する処理、

(3) 光パターン投射位置と第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める処理、

(4) 前記第1の撮像位置を基に、前記第1の初期位相画像において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第

2の初期位相画像における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるか否かを判定する処理、

(5) 両前記処理(2)、及び(4)により、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記第1、第2の初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理、

(6) 前記処理(1)乃至(5)を、前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返すように制御する処理、
の前記(1)乃至(6)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項37】第1、及び第2の光投射手段から二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を有する第1、及び第2の光パターンを、位相をずらしながら被計測物体へと投射し、前記第1の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を撮像手段で撮像した後、前記第2の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を前記撮像手段で撮像したデータから前記被計測物体の三次元形状を計測する、プログラム制御されるデータ処理装置において、

(a) 前記二つの光パターンにより撮像された第1、及び第2の画像列から、それぞれについて第1、及び第2の初期位相画像を導出する処理、

(b) 前記第1の光パターン投射位置と撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める処理、

(c) 第2の光パターン照射位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否かを判定する処理、

(d) 一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する処理、

(g) 前記(d)乃至(f)の処理を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返すように制御する処理、

(h) 前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、前記第1、及び第2の初期位相画像から第1、第2の絶対位相画像へ変換する処理、及び、

(i) 前記第1、及び第2の絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記二つの光パターン投射位置と画像撮像位置を基に、各画素における前記被計測物体の三次元座標位置を求める処理、

の前記(a)乃至(i)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項38】請求項37の記録媒体において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する処理

(d)が、

(1) 前記第1の光パターン投射位置と撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め

る処理、

(2) 前記第2の光パターン照射位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否かを判定する処理、

(3) 前記第2の光パターン投射位置と前記撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める処理、

(4) 第1の光パターン照射位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるか否かを判定する処理と、

(5) 前記処理(2)、及び(4)により一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する処理と、

(6) 前記処理(1)乃至(5)を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返すように制御する処理、
の前記(1)乃至(6)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項39】第1、第2の光投射手段から二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を有する第1、及び第2の光パターンを、位相をずらしながら被計測物体へと投射し、第1の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を第1、第2の撮像手段で撮像した後、前記第2の光パターンを位相をずらしながら照射し二つの異なる方向から前記被計測物体を前記第1、第2の撮像手段で撮像したデータから前記被計測物体の三次元形状を計測する、プログラム制御されるデータ処理装置において、

(a) 前記第1の光パターンにより二つの方向から撮像された第1、第2の画像列から、それぞれについて第1、第2の初期位相画像を導出する処理、

(b) 前記第2の光パターンにより二つの方向から撮像された第3、及び第4の画像列から、それぞれについて第3、及び第4の初期位相画像を導出する処理、

(c) 前記第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める処理、

(d) 前記第2の撮像位置を基にして、第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第4の初期位相画像における第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求める処理、

(e) 前記第1、及び第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるか否かを判定

する処理、

(f) 一意に決定された三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する処理、

(g) 前記(c)乃至(f)の工程を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す処理、

(h) 前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、第1乃至第4の初期位相画像から第1乃至第4の絶対位相画像へ変換する処理、及び、

(i) 前記第1乃至第4の絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記二つの光パターン投射位置と画像撮像位置を基に、各画素における前記被計測物体の三次元座標位置を求める処理、

の前記(a)乃至(i)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項40】請求項39記載の記録媒体において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する処理

(f)が、

(1) 前記第1の光パターンの投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める処理、

(2) 第2の撮像位置を基にして、前記第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた初期位相画像における第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求める処理と、

(3) 前記第1、及び第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定する処理、

(4) 第2の撮像位置を基にして、一意に決定できた三次元座標位置に対応する画素の初期位相から、対応する第3の三次元座標位置候補群を求める工程と、

(5) 前記第1の撮像位置を基にして、前記第2の光パターンにより前記第2の撮像位置から得られた第1の初期位相画像における第3の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第4の三次元座標位置候補群を求める処理、

(6) 第3、及び第4の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるか否かを判定する処理、

(7) 一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する処理、及び、

(8) 前記処理(1)乃至(7)を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す処理の前記(1)乃至(8)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項41】請求項39記載の記録媒体において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する処理

(f)が、

(1) 第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める処理、

(2) 第2の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する処理、

(3) 一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理、及び、

(4) 前記処理(1)乃至(3)を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返すように制御する処理の前記(1)乃至(4)の処理を前記データ処理装置で実行

させるためのプログラムを記録した記録媒体。
【請求項42】請求項39記載の記録媒体において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する処理

(f)が、

(1) 前記第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める処理、

(2) 第2の撮像位置を基にして、前記第1の光パターンにより前記第2の撮像位置から得られた第2の初期位相画像において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否か判定する処理、

(3) 前記第1の光パターンの投射位置と前記第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める処理、

(4) 第1の撮像位置を基に、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第1の初期位相画像において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の初期位相画像における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定する処理、

(5) 前記処理(2)、(4)により一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理、及び、

(6) 前記処理(1)乃至(5)を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返すように制御する処理、前記(1)乃至(6)の処理を前記データ処理装置で

実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項43】請求項39記載の記録媒体において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する処理

(f)が、

(1) 前記第1の光パターンの投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める処理、

(2) 前記第2の光パターンの照射位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第3の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否か判定する処理、

(3) 一意に決定できた三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理、及び、

(4) 前記(1)乃至(4)の処理を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返し初期位相の絶対値を決定する処理、

の前記(1)乃至(8)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項44】請求項39記載の記録媒体において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する処理

(f)が、

(1) 前記第1の光パターンの投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める処理、

(2) 前記第2の光パターンの照射位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第3の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否か判定する処理、

(3) 前記第2の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第3の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める処理、

(4) 前記第1の光パターンの照射位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の光パターンにより前記第1の撮像位置から得られた第1の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定する処理、

(5) 前記(2)、(4)の処理により一意に決定できた三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理、及び、

(6) 前記(1)乃至(5)の処理を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返すように制御する処理、

10

20

30

40

50

の前記(1)乃至(6)の処理を前記データ処理装置で実行させるためのプログラムを記録した記録媒体。

【請求項45】投射する光パターンが、三角波状であることを特徴とする、請求項1乃至15のいずれかに記載の三次元形状計測方法。

【請求項46】予め絶対座標位置がわかっている三次元空間座標位置の各々において、絶対位相値を計測しておき、初期位相から対応する三次元座標位置を算出する際に前記絶対位相値を利用する、ことを特徴とする、請求項1乃至16、請求項45のいずれかに記載の三次元形状計測方法。

【請求項47】投射する光パターンが、三角波状であることを特徴とする、請求項17乃至33のいずれかに記載の三次元形状計測装置。

【請求項48】予め絶対座標位置がわかっている三次元空間座標位置の各々において、絶対位相値を計測して記憶手段に記憶しておき、初期位相から対応する三次元座標位置を算出する際に前記絶対位相値を利用する、ことを特徴とする、請求項17乃至34、請求項47のいずれかに記載の三次元形状計測装置。

【請求項49】投射する光パターンが、正弦波状であることを特徴とする、請求項35乃至44のいずれかに記載のプログラムを記録した記録媒体。

【請求項50】投射する光パターンが、三角波状であることを特徴とする、請求項35乃至44のいずれかに記載のプログラムを記録した記録媒体。

【請求項51】予め絶対座標位置がわかっている三次元空間座標位置の各々において、絶対位相値を計測しておき、初期位相から対応する三次元座標位置を算出する際に前記絶対位相値を利用する、ことを特徴とする、請求項35乃至44、49、50のいずれかに記載のプログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、三次元形状計測技術に関し、特に位相シフト法に基づく三次元形状計測方法、計測装置及び、該三次元形状計測をデータ処理装置で実行させる記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、物体の三次元形状を計測する*

$$a_1(x) = A(x) \cos \alpha(x)$$

$$b_1(x) = -A(x) \sin \alpha(x)$$

$$I_k(x) = a_0(x) + a_1(x) \cos \frac{2\pi k}{N} + b_1(x) \sin \frac{2\pi k}{N} \quad \dots(3)$$

【0008】 $a_1(x)$ 、 $b_1(x)$ は、それぞれN回の撮影で得たx地点での輝度値 $I_0(x)$ 、 \dots 、 $I_{N-1}(x)$ を用い

*様々な手法が提案されている。その中の一つの手法として、まず、縞走査を導入した格子パターン投影法について、文献(1)（「縞走査を導入した格子パターン投影法」(精密工学会誌, Vol.55, No.10, pp.1817-1822, 1989年)）に基づいて説明する。

【0003】図11は、文献(1)で記されている三次元形状計測装置の概略図を示す。図11を参照すると、光源101から正弦波状に濃淡値が印刷されている格子102を通して、物体100に対して正弦波状の輝度分布を持つ光パターンを投影する。該物体100上の点P104をカメラ103で撮影する。画像上における該点P104の座標値をx、該座標xにおける輝度値を $I(x)$ とし、輝度値 $I(x)$ を次式(1)で表わす。

$$I(x) = a_0(x) + A(x) \cos(\phi + \alpha(x)) \quad \dots(1)$$

【0004】ここで、 $A_0(x)$ はバイアス成分であり、 ϕ と $\alpha(x)$ は位相である。

【0005】物体100を静止させたままで格子102を軸u方向へと、印刷した正弦波パターンの波長の $1/N$ ずつN回ずらしながら画像を撮影してゆく。撮影された画像は、物体100に投影された正弦波光パターンが $2\pi/N$ ラジアンずつ進行してゆくように見える。これを位相 ϕ が、0ラジアンから $2\pi/N$ ラジアンずつ $2(N-1)\pi/N$ ラジアン(但し、Nは正の整数)までずれてゆくと解釈すると、k回目($0 \leq k \leq N$)に得られるx地点での輝度値 $I_k(x)$ は、次式(2)で表わすことができる。

$$I_k(x) = a_0(x) + A(x) \cos\left(\frac{2\pi k}{N} + \alpha(x)\right) \quad \dots(2)$$

【0006】位相 $\alpha(x)$ は、k=0番目に撮影した画像におけるx地点での位相値となる。点P104は、カメラスクリーン上の座標xからレンズ中心を通過する半直線上に存在する。光源101から見たとき点P104は、正弦波格子102上において位相 $\alpha(x)$ の直線と、光源101で決まる平面上に存在する。故に上記直線と平面との交点を求めれば、該交点の三次元座標値が点P104のものであることがわかる。

【0007】上式(2)は、次式(3)で示す新しい2つの係数 $a_1(x)$ 、 $b_1(x)$ を導入することで、次式(4)と書き換えることができる。

て、次式(5)で求まる。位相 $\alpha(x)$ は、次式(6)で求まる。

$$a_1(x) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} I_k \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right)$$

$$b_1(x) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} I_k \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \quad \dots(5)$$

$$\alpha(x) = \tan^{-1} \frac{-b_1(x)}{a_1(x)} \quad \dots(6)$$

【0009】上記した位相計算をカメラ103で撮影された画像上の各画素で実行することで、画像上の物体100の位相値が得られる。

【0010】ところで、上式(6)から得られる $\alpha(x)$ は、逆正接関数 $\tan^{-1}()$ を用いて計算していることから分かるように、全て $-\pi$ から π までの間に折り返されてしまっている。このため、求められた位相 $\alpha(x)$ は、 2π の整数倍だけ不定性を持ってしまい、このままでは物体100の三次元形状を求めることができない。

【0011】このように、物体100全体に対して、一周期だけからなる正弦波パターンを投射することで、位相を一意に決められるようにすることができるが、このとき、物体100全体に、 $-\pi \sim \pi$ までの狭い位相値を割り付けるために、高い計測精度が得られない、という問題点が出てくる。

【0012】そこで、通常、初期位相の値域を広げ、物体100に対して複数周期の正弦波パターンを投射することで、位相の一意性を犠牲にして計測精度を向上させる方法がとられている。図12は、カメラ103で撮影された画像上の各画素において、求めた位相の例である位相画像105を示す図である。図12では、位相 $-\pi$ から π ラジアンを、黒から白へと割り付けて示している。

【0013】図12に示すように、例えば平面を計測したとしても、不連続な位相が得られてしまうため、何らかの手法で画像内で相対的な位相値を決定して、連続した値へと変換する必要がある。またそのままでは位相値の絶対値は得られないため、何らかの手法で別途絶対位相を決定しなければならない。

【0014】 $-\pi$ から π の間へと折り畳まれた位相を連続となるように変換する従来の位相接続手法としては、例えば文献(2)(T. R. Judge And P. J. Bryanston-Cross, "A Review of Phase Unwrapping Techniques in Fringe Analysis", Optics and Lasers in Engineering, Vol.21, pp.199-239, 1994年)等の記載が参照される。以下に、位相接続方法の中で最も単純な位相格子計数/走査手法(the phase fringe counting/scanning approach)について、該文献(2)のpp.211-212に基づき説明する。

【0015】この手法は、以下の手順から構成される。

【0016】(1) 入力画像に対して空間的な広がりを持つフィルタや、FFT(高速フーリエ変換)などを利用したLPF(低周波通過フィルタ)を適用してノイズを除去する。ノイズ除去された画像から、位相を式(6)など

に基づき計算する。

【0017】(2) 隣接画素間の位相差に対して閾値処理し、位相の不連続境界(π から $-\pi$ への値の変化)を求める。

【0018】(3) 画像を水平方向へと、行毎に走査し、前記位相の不連続境界を通過する毎に 2π を加減することで、隣接画素間で水平方向に連続する位相値を求める。

【0019】(4) 行毎に連続した位相値を垂直方向で比較し、画像全体で連続した位相値へと更に変換する。

【0020】一般に位相接続方法は、上記手法に限らず、物体100の表面が十分滑らかであり計測位相値には大きな値の変化は含まれない、ノイズが少ない、などの仮定が成り立たないと良い結果が得られない、という問題点を持っている。このため位相接続処理は、自動計測において大きな問題となり得る。

【0021】位相接続処理では単に、 $-\pi$ から π までに折り畳まれた位相値を、全体として連続となるよう変換するだけであり、絶対値としての位相値が得られるわけではない。このため、位相値には依然として 2π の整数倍の不確実性が残されている。

【0022】前記文献(1)「(縞走査を導入した格子パターン投影法)」には、絶対位相値から三次元座標値への変換方法が記載されているが、位相の絶対値を定める方法については何も記載されていない。

【0023】前記文献(1)の著者らにより、位相値の絶対値を定める手法を含んだ方法が、文献(3)「(縞走査を導入した格子パターン投影法(第2報)——正弦格子の利用——」、精密工学会誌, Vol.58, No.7, pp.1173-1178, 1992年)に記載されている。

【0024】上記文献(3)では、格子のうちの一つを他のものよりも1.5倍太くしておくことで、画像上で自動判別可能であるよう工夫している。この太い縞の適当な位置を、絶対位相0などとしておくことで、位相値から不確実性を除くことが可能となる。

【0025】得られた位相の絶対値から三次元座標値を求める方法について、図13を参照して説明する。座標 (X_0, Z_0) に置かれた光源101から、光軸方向 n (記号 \vec{n} はベクトルを示す)に距離 l だけ離して置かれた格子102を通して物体100へ向けて光パターンを投射する。格子102はピッチ p で正弦波が印刷されており、光軸 n において初期位相が0となるよう調整されているとする。また光軸 n とX軸との間のなす角度は θ であ

るとする。

【0026】ここで、点P104である(X, Z)地点に絶対位相 α を持つ光が照射されていることを、焦点距離fを持つカメラ103により観測できたとする。カメラ103内部のスクリーン106上に、点P104が座標xへと投射されたとする、カメラ103から点P104への見こみ角 γ は次式(7)により求めることができる。

$$\tan \gamma = \frac{x}{f} \quad \dots(7)$$

【0027】このとき同時に次式(8)も成り立つ。

$$\tan \gamma = \frac{X}{Z} \quad \dots(8)$$

【0028】また絶対位相 α を持つ光パターンは、X軸に対して角 $\theta + \beta$ で投射されているとする。角 β は格子*

$$Z = f \cdot \frac{(2\pi l \tan \theta + \alpha p)X_0 - (2\pi l - \alpha p \tan \theta)Z_0}{(2\pi l \tan \theta + \alpha p)x - (2\pi l - \alpha p \tan \theta)f}$$

$$X = Z \cdot \frac{x}{f} \quad \dots(11)$$

【0031】また別の文献(4)(特開平11-118443号公報)には、上記文献(1)などの正弦波投射と同様な高精度性能を持ちながら、位相計算において式(6)で示したような計算コストの高い逆正接関数 \tan^{-1} 関数ではなく、加減乗除だけで求めることができる、三角波による手法が提案されている。この手法は、基本的に、上記文献(1)のバリエーションであるため、同様に位相接続方法と絶対位相の決定が必要となる。これらは、上記文献(1)の手法と同様に、上記文献(2)や(3)と同様な手法により実行することになる。

【0032】

【発明が解決しようとする課題】上記文献(1)(「縞走査を導入した格子パターン投影法」)や、文献(4)(「形状計測装置」)に基づく従来の方法は、主に、以下の5つの問題を有している。

【0033】(1)光源101とカメラ103の光軸が異なるため、カメラ103から観測可能であるが正弦波パターンは照射されてない領域が存在し、該当領域での三次元形状計測ができない。

【0034】(2)カメラ103から観測できない領域があり、該当領域での三次元形状計測ができない。

【0035】(3)位相の絶対値を自動で求めることが困難であり、 2π の整数倍だけ異なる位相値は見分けがつかない、即ち絶対的な三次元形状が得られない。

【0036】(4) $-\pi$ から π へと折り畳まれた位相値を連続に接続する手法を、自動実行することは一般に困難である。

【0037】(5)投射した波形は、光投射器の様々な問題により、正弦波や三角波などの、上記文献に記載さ

* 周期pと光源101と格子102間距離iを利用して、式(9)で得ることができる。

$$\tan \beta = \frac{\alpha \cdot p}{2\pi l} \quad \dots(9)$$

【0029】前述と同様に、光源101から点P104への、X軸を基準とした見こみ角 $\theta + \beta$ を求めると、次式(10)となる。

$$\tan(\theta + \beta) = \frac{Z - Z_0}{X - X_0} \quad \dots(10)$$

【0030】上記(7)から上記(10)までを利用すると、点P104の座標(X, Z)は、スクリーン107上で撮影されている位置xと絶対位相 α 、装置の構成とから、次式(11)により求められる。

れているような、理想的な取り扱いが可能なように機器を構成することは難しい。

【0038】このうち、(3)は絶対位相決定に関する問題である。絶対位相を定めるためには、以下のように自動処理と絶対的な三次元形状計測の間でのトレードオフが存在する。

【0039】(a)格子102上の正弦縞に幅を変えるなどによる目印をつけて、自動検出できるよう工夫する。

【0040】(b)計測対象物体100の適当な地点を、計測位置のある決まった位置へと来るように、手作業などで物体100の位置を決めておく。計測した位相値に対して、該当地点を手作業などで指示し絶対位相を定める。

【0041】(c)物体100の表面上の適当な地点を手作業などで計測し、計測位相値へと反映させる。

【0042】(d)絶対的な三次元形状をあきらめる。位相値のオフセットを適当な手法で自動に決定する。

【0043】上記(a)は、文献(3)(「縞走査を導入した格子パターン投影法(第2報)——正弦格子の利用——」)に記載されている方法であるが、カメラ103により観測される正弦波状の輝度分布の幅は、本当に幅が広いのか、計測対象となる物体100の三次元形状によりたまたま広く見えているだけなのかを判別することは困難である。

【0044】上記(b)、(c)は、自動処理をあきらめ何らかの手作業を介する方法であり、著しく応用範囲を狭めてしまう。

【0045】上記(d)は、例えばカメラ103の画像中央位置での位相値を $-\pi$ から π の範囲に入るよう適当にオフセットを定めるなど自動化するものであり、絶対的

な三次元形状計測をあきらめる方法である。

【0046】図14を参照して、絶対位相値が不明であるときの問題点を説明する。位相計算・位相接続までの処理により、カメラ103から視線A111方向に位相値 α が、視線B112方向に $\alpha + 2\pi$ が得られ、両視線間では位相値は滑らかに変化していることがわかったとする。

【0047】光源101より格子102を通過して、絶対位相 α が投射される方向113、絶対位相 $\alpha + 2\pi$ が投射される方向114、絶対位相 $\alpha + 4\pi$ が投射される方向115、絶対位相 $\alpha + 6\pi$ が投射される方向116を、図14に示すように、延長しておく。

【0048】図14により絶対位相値がわからないとき、カメラ103で観測された物体表面は、物体表面A108、B109、C110などのいずれかが区別できないことになる。

【0049】ここで、適当に位相のオフセットを定めることは、物体表面A108、B109、C110から一つを適当に選択することと同義である。図14から直ちにわかるように、この選択の結果として、面の傾きや長さが実際とは異なる計測結果が得られる場合が生じてしまう。計測対象物体は、様々な面から構成されているため、それぞれについて同様な変形がなされ、計測された物体形状は全体に歪んだものになってしまう。この方法では自動計測が可能であるが、絶対的な三次元形状が得られず応用範囲を狭めてしまうこととなる。

【0050】問題点(1)、(2)は、共に死角の問題であり、(1)の解決には光源を、(2)の解決にはカメラを、それぞれ必要なだけ増設する必要がある。

【0051】しかしながら、前記文献(3)の手法そのままでは、自動での絶対的な三次元形状取得はできない。そのため、複数の光源もしくはカメラの組から得られる複数の三次元形状計測結果はそれぞれ独立に歪みを持ってしまう。このため、死角をなくそうと光源やカメラを増設しても、自動計測結果を統合・合成することができず、何らかの作業を介する必要がある。

【0052】問題点(4)は位相接続の問題である。前記文献(2)（「A Review of Phase Unwrapping Techniques in Fringe Analysis」）に述べられているように、例えば従来手法の位相格子数/走査手法が良い結果を出力するためには、位相値が $-\pi$ から π へと飛ぶ境界がきれいに得られることが前提となっている。

【0053】しかしながら、現実にはノイズの影響などにより境界が余計に現れたり、必要な境界が消えるなどによりうまく働かないことが多い。他の従来の手法でも同様な問題点を少なからず内包しており、例えば前記文献(2)（「A Review of Phase Unwrapping Techniques in Fringe Analysis」）では、位相接続処理の性能が、自動三次元形状計測処理を実行するための一つの課題である旨が記載されている。

【0054】また問題点(5)では、実際の機器構成上

の問題であり、機械工作精度などにより理論的な取り扱いの易しい正弦波や三角波などの波形を生成することはそれほど易しくない。前記文献(1)では、ロンキー格子が自然にぼけたパターンから、式(6)によって求めた位相値 α は、正確な正弦波パターンから求めた位相値とあまり変わらないと述べられている。しかし、文献(5)（「Comparison of Phase-measurement Algorithms」、Katherine Creath, SPIE Vol. 680, Surface Characterization and Testing, pp. 19-28 (1986)）に記載されているように、正弦波などからのずれは、式(6)により計算される位相値 α に少なからず影響を与える。例えばハードウェアの価格を低減したり、より高精度な計測を目指すには理論的な正弦波や三角波などからのずれを補償できるような手法の実現が課題とされる。

【0055】したがって本発明は、上記問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は、位相シフト法に基づく三次元形状計測において、一つ以上の光源とカメラを組み合わせることによって、(1)死角の問題、(2)絶対位相値の決定、(3)確実な位相接続処理、を自動で実行することが可能とする装置及び方法を提供することにある。本発明の別の目的は、(4)より廉価にして、より高精度な計測性能を確保する装置及び方法を提供することにある。

【0056】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する、第1の発明は、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する工程と、光パターンを位相をずらしながら照射した計測物体を、二つの異なる方向から撮像する工程と、該二つの方向から撮像された画像列1、2から、それぞれについて第1の初期位相画像、2を計算する工程と、光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の撮像位置を基にして、該第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する工程と、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記第1の初期位相画像、2における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、以上三つの工程を第1の初期位相画像の全画素について繰り返す工程と、前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、第1の初期位相画像、2から絶対位相画像1、2へと変換する工程と、該絶対位相画像1、2の各画素における絶対位相と、前記光パターン投射位置と前記画像1、2の撮像位置を基に、各画

素における計測物体の三次元座標位置を求めることを特徴とする。

【0057】第2の発明は、前記第1の発明の三次元形状計測方法において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の撮像位置を基にして、該第2の初期位相画像において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する工程と、光パターン投射位置と第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、第1の撮像位置を基に、該第1の初期位相画像において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の初期位相画像における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する工程と、両工程により一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像1、2における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、前記五つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返す工程を有することを特徴とする。

【0058】第3の発明は、前記第1、第2の発明において、三つ以上の異なる方向から撮像する工程を有することを特徴とする。

【0059】第4の発明は、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する工程と第1の光パターンを位相をずらしながら照射し計測物体を撮像した後、第2の光パターンを位相をずらしながら照射し計測物体を撮像する工程と、該二つの光パターンにより撮像された画像列1、2から、それぞれについて初期位相画像1、2を計算する工程と、第1の光パターン投射位置と撮像位置を基にして、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の光パターン照射位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定する工程と、一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する工程と、前記三つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返す工程と、前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、初期位相画像1、2から絶対位相画像1、2へと変換する工程と、該絶対位相画像1、2の各画素における絶

対位相と、前記二つの光パターン投射位置と画像撮像位置を基に、各画素における計測物体の三次元座標位置を求めることを特徴とする。

【0060】第5発明は、第4の発明において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、第1の光パターン投射位置と撮像位置を基にして、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の光パターン照射位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定する工程と、第2の光パターン投射位置と撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、第1の光パターン照射位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、初期位相画像1における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定する工程と、両工程により一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する工程と、前記六つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返すことを特徴とする。

【0061】第6の発明は、第4、第5の発明において、三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する工程を有することを特徴とする。

【0062】第7の発明は、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する工程と第1の光パターンを位相をずらしながら照射し計測物体を二つの異なる方向から撮像した後、第2の光パターンを位相をずらしながら照射し同様に二つの異なる方向から計測物体を撮像する工程と、第1の光パターンにより二つの方向から撮像された画像列1、2から、それぞれについて初期位相画像1、2を計算する工程と、第2の光パターンにより二つの方向から撮像された画像列3、4から、それぞれについて初期位相画像3、4を計算する工程と、第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の撮像位置を基にして、第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた初期位相画像4における第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、第1、第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定する工程と、一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する工程と、前記四つ

の工程を初期位相画像1の全画素について繰り返す工程と、前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、初期位相画像1、2、3、4から絶対位相画像1、2、3、4へと変換する工程と、該絶対位相画像1、2、3、4の各画素における絶対位相と、前記二つの光パターン投射位置と画像撮像位置を基に、各画素における計測物体の三次元座標位置を求めることを特徴とする。

【0063】第8の発明は、第7の発明において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の撮像位置を基にして、第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた初期位相画像4における第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、第1、第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定する工程と、第2の撮像位置を基にして、一意に決定できた三次元座標位置に対応する画素の初期位相から、対応する第3の三次元座標位置候補群を求める工程と、第1の撮像位置を基にして、第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた初期位相画像1における第3の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第4の三次元座標位置候補群を求める工程と、第3、第4の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定する工程と、一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する工程と、前記七つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返すことを特徴とする。

【0064】第9の発明は、第7の発明において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する工程と、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、以上三つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返す工程を特徴とする。

【0065】第10発明は、第7の発明において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基に

して、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第2の初期位相画像において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する工程と、第1の光パターン投射位置と第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、第1の撮像位置を基に、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた初期位相画像1において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記初期位相画像2における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定する工程と、両工程により一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、前記五つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返す工程を持つことを特徴とする。

【0066】第11の発明は、第7の発明において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の光パターン照射位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の光パターンにより第1の撮像位置から得られた初期位相画像3における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定する工程と、一意に決定できた三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、前記三つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返し初期位相の絶対値を決定する工程を持つことを特徴とする。

【0067】第12の発明は、第7の発明において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記初期位相画像1における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める工程と、第2の光パターン照射位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の光パターンにより第1の撮像位置から得られた初期位相画像3における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定する工程と、第2の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基に

から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める工程と、第1の光パターン照射位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた初期位相画像1における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定する工程と、両工程により一意に決定できた三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する工程と、前記六つの工程を初期位相画像1の全画素について繰り返すことを特徴とする。

【0068】第13の発明は、第7の発明において、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定する工程において、請求項7から12までに記載の初期位相の絶対値を決定する工程を組み合わせることを特徴とする。

【0069】第14発明は、第7から第13の発明において、三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する工程を持つことを特徴とする。

【0070】第15の発明は第7から第14の発明において、三つ以上の異なる方向から撮像する工程を持つことを特徴とする。

【0071】第16の発明は第7から第15の発明において、投射する光パターンが、正弦波状であることを特徴とする。

【0072】第17の発明の三次元形状計測装置は、光投射手段制御信号を入力とし、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、制御信号に合わせて位相をずらしながら計測物体へと投射する光投射手段と、カメラ制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、制御信号に合わせて計測物体を二つの異なる方向から撮像し、それぞれカメラ出力信号A、Bとして出力するカメラA、Bと、前記カメラ出力信号A、Bを入力とし、撮像された画像を記録しておき、随時、画像信号A、Bとして出力する画像記憶手段A、Bと、位相計算制御信号により切り替えられる、前記画像信号AまたはBを入力とし、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段と、位相計算制御信号により振り分けられる、前記位相信号を入力とし、前記画像信号A、Bから計算した位相値を記録しておき随時、位相信号A、Bとして出力する位相記憶手段A、Bと、前記位相信号A、Bを入力とし、前記光投射手段と前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号Aにおける注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記カメラBの位置を基にして、前記位相信号Bにおいて前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、初期位相信号Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記位相信号A、Bにおける該当画素の初期位相の絶対値を決定する

ことを、前記位相信号Aの全画素について繰り返し、前記位相信号Aに対応して絶対位相信号Aを、前記位相信号Bに対応して絶対位相信号Bを出力する絶対位相決定手段と、三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記絶対位相信号AまたはBと前記位相信号AまたはBを入力とし、前記位相信号AまたはB中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定している画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定してゆくことを、前記位相信号AまたはBの全画素について繰り返し、それぞれ絶対位相変換信号AまたはBとして出力する絶対位相変換手段と、三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記絶対位相変換信号AまたはBを入力とし、前記光投射手段と前記カメラAまたはBの位置を基にして、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号AまたはBとして出力する三次元座標変換手段と、前記三次元座標信号AまたはBを入力とし、それぞれの前記カメラAまたはBに対応する三次元座標値を記録しておき随時、三次元座標信号AまたはBとして出力する三次元座標記憶手段A、Bと、二つの前記三次元座標信号A、Bを入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段と、前記光投射手段制御信号、前記カメラA、B制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、光パターンを位相をずらしながら撮像したり、位相計算の入出力を制御したり、三次元座標計算の入出力を制御する光投射手段・カメラ制御手段とからなることを特徴とする。

【0073】第18の発明は、第17の発明において、三次元形状計測装置において、前記絶対位相決定手段が、前記位相信号A、Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記光投射手段と前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号Aにおける注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記カメラBの位置を基にして、前記位相信号Bにおいて前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記位相信号A、Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記光投射手段と前記カメラBの位置を基にして、前記位相信号Bにおける前記一意決定画素信号における画素位置と初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号Aにおいて前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号Bにおける一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により

一意に決定できた場合に該画素位置により三次元座標位置を求め、前記位相信号A、Bにおける該画素の初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号Aに対応して絶対位相信号Aを、前記位相信号Bに対応して絶対位相信号Bを出力する第2の絶対位相決定手段と、前記位相信号Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段とからなることを特徴とする。

【0074】第19の発明の三次元形状計測装置において、三つ以上の異なる方向から撮像するカメラを持つことを特徴とする。

【0075】第20の発明は、光投射手段制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、制御信号に合わせて位相をずらしながら計測物体へと投射する光投射手段A、Bと、カメラ制御信号を入力とし、制御信号に合わせて計測物体を撮像し、カメラ出力信号として出力するカメラと、カメラ出力制御信号により切り替えられる、前記カメラ出力信号を入力として、該二つの光パターンA、Bにより撮像された画像列を記録しておき随時、画像信号A、Bとして出力する画像記憶手段A、Bと、位相計算制御信号により切り替えられる、前記画像信号AまたはBを入力とし、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段と、位相計算制御信号により振り分けられる、前記位相信号を入力とし、前記画像信号A、Bから計算した位相値を記録しておき随時、位相信号A、Bとして出力する位相記憶手段A、Bと、前記位相信号A、Bを入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラの位置を基にして、前記位相信号Aにおける注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Bの位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記位相信号Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号Aの全画素について繰り返し、前記位相信号Aに対応して絶対位相信号Aを、前記位相信号Bに対応して絶対位相信号Bを出力する絶対位相決定手段と、三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記絶対位相信号AまたはBと前記位相信号AまたはBを入力とし、前記位相信号AまたはB中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定している画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定してゆくことを、前記位相信号AまたはBの全画素について繰り返し、それぞれ絶対位相変換信号AまたはBとして出力する絶対位相変換手段と、三次元座標計算制御信号により切り替えられる、絶対位相変換信号AまたはBを入力とし、前記光投射手段AまたはBと前記カメラの位置を基にして、三次元座標値へと変換し、三

次元座標信号AまたはBとして出力する三次元座標変換手段と、前記三次元座標信号AまたはBを入力とし、それぞれの前記光投射手段AまたはBに対応する三次元座標値を記録しておき随時、三次元座標信号AまたはBとして出力する三次元座標記憶手段A、Bと、二つの前記三次元座標信号A、Bを入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段と、前記光投射手段制御信号A、B、前記カメラ制御信号、前記カメラ出力制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、二つの前記光投射手段A、Bを切り替えて位相をずらしながら撮像したり、カメラ出力を切り替えたり、位相計算の入出力を制御したり、三次元座標計算の入出力を制御する光投射手段・カメラ制御手段とからなることを特徴とする。

【0076】第21の発明は、前記第20の発明の絶対位相決定手段が、前記位相信号A、Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラの位置を基にして、前記位相信号Aにおける注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Bと前記第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記位相信号Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記位相信号A、Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記光投射手段Bと前記カメラの位置を基にして、前記位相信号Bにおける前記一意決定画素信号における初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Aと前記第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記位相信号Aにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号Aに対応して絶対位相信号Aを、前記位相信号Bに対応して絶対位相信号Bを出力する第2の絶対位相決定手段と、前記位相信号Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段とからなることを特徴とする。第22の発明は、三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する光投射手段を持つことを特徴とする。

【0077】第22の発明は、光投射手段制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、制御信号に合わせて位相をずらしながら計測物体へと投射する光投射手段A、Bと、カメラ制御信号A、Bをそれぞ

れ入力とし、制御信号に合わせて計測物体を二つの異なる方向から撮像し、カメラ出力信号A、Bとして出力するカメラA、Bと、カメラ出力制御信号により切り替えられる、カメラ出力信号A、Bを入力とし、二つの光パターンでそれぞれ二つのカメラで撮像された画像列を記録しておき随時、画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bとして出力する四つの画像記憶手段A-A、A-B、B-A、B-Bと、位相計算制御信号により切り替えられる、前記画像信号A-A、A-B、B-AまたはB-Bを入力として、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段と、位相計算制御信号により切り替えられる、前記位相信号を入力とし、前記画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bから計算した位相値を記録しておき随時、位相信号A-A、A-B、B-A、B-Bとして出力する位相記憶手段A-A、A-B、B-A、B-Bと、前記位相信号A-A、B-Bを入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラAの位置を基にして、前記光投射手段Aの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記カメラBの位置を基にして、前記光投射手段Bの光パターンにより前記カメラBの位置から得られた前記位相信号B-Bにおける第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1と第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Bに対応して絶対位相信号B-Bを出力する絶対位相決定手段と、三次元座標計算制御信号により切り替えられる、前記絶対位相信号A-AまたはB-Bと前記位相信号A-AまたはB-Bを入力とし、前記位相信号A-A、B-B中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定している画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定してゆくことを、前記位相信号A-AまたはB-Bの全画素について繰り返し、それぞれ絶対位相変換信号A-AまたはB-Bとして出力する絶対位相変換手段と、三次元座標計算制御信号により切り替えられる、絶対位相変換信号A-AまたはB-Bを入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラAまたは前記光投射手段Bと前記カメラBの位置を基にして、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号A-AまたはB-Bとして出力する三次元座標変換手段と、前記三次元座標信号A-AまたはB-Bを入力とし、それぞれの前記光投射手段Aと前記カメラAまたは前記光投射手段Bと前記カメラBに対応する三次元座標値を記録しておき随時、三次元座標信号A-AまたはB-Bとして

出力する三次元座標記憶手段A-A、B-Bと、二つの前記三次元座標信号A-A、B-Bを入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段と、前記光投射手段A、B制御信号、前記カメラA、B制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、光パターンを位相をずらしながら撮像したり、位相計算の入出力を制御したり、三次元座標計算の入出力を制御する光投射手段、カメラ制御手段とからなることを特徴とする。

【0078】第23の発明は、前記22の発明において、前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、B-Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラAの位置を基にして、前記光投射手段Aの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記カメラBの位置を基にして、前記光投射手段Bの光パターンにより前記カメラBの位置から得られた前記位相信号B-Bにおける第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求め、第1、第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、前記位相信号B-B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-A、B-Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記カメラBの位置を基にして、一意に決定できた三次元座標位置に対応する画素の、前記光投射手段Bの光パターンによる初期位相から、対応する第3の三次元座標位置候補群を求め、前記カメラAの位置を基にして、前記光投射手段Aの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける第3の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第4の三次元座標位置候補群を求め、第3、第4の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Bに対応して絶対位相信号B-Bを出力する第2の絶対位相決定手段と前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段とからなることを特徴とする。

【0079】第24の発明は、前記第22の発明の前記絶対位相決定手段が、前記位相信号A-A、B-Aを入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記カメラBの位置を基にして、前記光投射手段Aの光パターンに

より前記カメラBの位置から得られた前記位相信号B-Aにおいて前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、該当画素の初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Aに対応して絶対位相信号B-Aを出力することを特徴とする。

【0080】第25の発明は、前記第22の発明の前記絶対位相決定手段が、前記位相信号A-A、B-Aと、注目画素位置信号を入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記カメラBの位置を基にして、前記光投射手段Aの光パターンにより前記カメラBの位置から得られた前記位相信号B-Aにおいて第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号B-A上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-A、B-Aと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラBの位置を基にして、前記位相信号B-Aにおける前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記カメラAの位置を基に、前記光投射手段Aの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおいて第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号B-Aにおける一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に該画素位置により三次元座標位置を求め、前記位相信号A-A、B-Aにおける街頭画素の初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Aに対応して絶対位相信号B-Aを出力する第2の絶対位相信号決定手段と、前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段とからなることを特徴とする。

【0081】第25の発明は、前記第22の発明の前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、A-Bを入力として、前記光投射手段Aと前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求め、

前記光投射手段Bの位置と前記三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記光投射手段Bの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた三次元座標位置から、該当画素の初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号A-Bに対応して絶対位相信号A-Bを出力することを特徴とする。

【0082】第26の発明は、前記位相信号A-A、A-Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記光投射手段Aと前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Bの位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記光投射手段Bの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた位相信号A-Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号A-B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-A、A-Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記光投射手段Bと前記カメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Bにおける注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Aの位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記光投射手段Aの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定し、異常の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号A-Bに対応して絶対位相信号A-Bを出力する第2の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段とからなることを特徴とする。

【0083】第27の発明は、前記第22の発明の前記絶対位相決定手段において、請求項23から28までに記載の初期位相の絶対値を決定する手段を組み合わせることを特徴とする。

【0084】第28の発明は第7から第15の発明において、投射する光パターンが、三角波状であることを特徴とする。

【0085】第29の発明は第1から第15、第28の発明において、予め絶対座標位置がわかっている三次元空間座標位置各々において、絶対位相値を計測してお

き、初期位相から対応する三次元座標位置を算出する際に利用することを特徴とする。

【0086】本発明においては、三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する工程を持つことを特徴とする。また本発明においては、三つ以上の異なる方向から撮像するカメラを持つ。また本発明の三次元形状計測装置において、投射する光パターンが、正弦波状ないし三角波状とされる。

【0087】また本発明の三次元形状計測装置において、予め絶対座標位置がわかっている三次元空間座標位置各々において、絶対位相値を計測しておき、初期位相から対応する三次元座標位置を算出する際に利用することを特徴とする。

【0088】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について説明する。本発明の三次元形状計測装置は、その好ましい第1の実施の形態において、光投射手段制御信号(1)を入力とし、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、該制御信号(1)に合わせて位相をずらしながら被計測物体へと投射する光投射手段A(201)と、第1、第2のカメラ制御信号(3、4)をそれぞれ入力とし、前記制御信号に合わせて被計測物体を二つの異なる方向から撮像し、それぞれ第1、第2のカメラ出力信号(5、6)としてそれぞれ出力する第1、第2のカメラA、B(203、204)と、第1、第2のカメラ出力信号(5、6)をそれぞれ入力とし、撮像された画像を記録しておき、随時、第1、第2の画像信号A-A、B-A(9、11)としてそれぞれ出力する第1、第2の画像記憶手段(206、208)と、位相計算制御信号(14)により切り替えられるスイッチ(230)を介して、前記第1又は第2の画像信号(9、11)を入力とし、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号(13)として出力する位相計算手段(210)と、位相計算制御信号(14)によりスイッチ(231)を介して振り分けられる、位相信号(13)を入力とし、前記第1、第2の画像信号(9、11)から計算した位相値を記録しておき随時、第1、第2の位相信号A-A、B-A(15、17)としてそれぞれ出力する第1、第2の位相記憶手段(211、213)と、を備えている。

【0089】さらに、第1、第2の位相信号(15、17)を入力とし、光投射手段(201)と第1のカメラ(203)の位置を基にして、前記第1の位相信号(15)における注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラ(204)の位置を基にして、前記第2の位相信号(17)において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、第1の初期位相信号における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた画素位

置により三次元座標位置を求め、前記第1、第2の位相信号(15、17)における該当画素の初期位相の絶対値を決定する処理を、前記第1の位相信号(15)の全画素について繰り返し、前記第1の位相信号(15)に対応して第1の絶対位相信号(20)を、前記第2の位相信号Bに対応して第2の絶対位相信号(21)を出力する絶対位相決定手段(215)と、三次元座標計算制御信号(33)によりスイッチ(233)を介して切り替えられる、前記第1又は第2の絶対位相信号(20、21)と、スイッチ(232)を介して切り替えられる前記第1又は第2位相信号(15、17)を入力し、前記第1又は第2の位相信号中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定している画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定してゆく処理を、前記第1又は第2の位相信号の全画素について繰り返し、それぞれ第1、又は第2の絶対位相変換信号として出力する絶対位相変換手段(221)と、三次元座標計算制御信号によりスイッチ(234)を介して切り替えられる、前記第1又は第2絶対位相変換信号AまたはBを入力とし、前記光投射手段と前記第1又は第2のカメラAまたはBの位置を基にして、三次元座標値へと変換し、第1又は第2の三次元座標信号(34)として出力する三次元座標変換手段(222)と、第1、第2の三次元座標信号(34)を入力とし、それぞれの前記第1、第2のカメラA、Bに対応する三次元座標値を記録しておき随時、第1、第2の三次元座標信号(35、37)としてそれぞれ出力する第1、第2の三次元座標記憶手段(223、225)と、前記第1、第2の三次元座標信号(35、37)を入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段(226)と、前記光投射手段制御信号、前記第1、第2のカメラ制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、光パターンを位相をずらしながら撮像する制御、位相計算の入出力の制御、三次元座標計算の入出力の制御を行う光投射手段・カメラ制御手段(205)と、を備える。

【0090】絶対位相決定手段(215)は、前記第1、第2の位相信号と、注目画素位置信号を入力とし、前記光投射手段と前記第1のカメラの位置を基にして、前記第1の位相信号における注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラの位置を基にして、前記第2の位相信号において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の位相信号における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記第2の位相信号上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記第1、第2の位相信号と前記一意決定画素信号とを入力とし、前記光投射手段と前記第2のカ

メラの位置を基にして、前記第2の位相信号Bにおける前記一意決定画素信号における画素位置と初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1のカメラの位置を基にして、前記第1の位相信号において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の位相信号における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に該画素位置により三次元座標位置を求め、前記第1、第2の位相信号における該画素の初期位相の絶対値を決定し、前記第1の位相信号に対応して第1の絶対位相信号を、前記第2の位相信号に対応して第2の絶対位相信号を出力する第2の絶対位相決定手段と、前記第1の位相信号の全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段と、を備える。

【0091】本発明は、その好ましい第2の実施の形態において、図5を参照すると、第1、第2の光投射手段制御信号(1、2)をそれぞれ入力とし、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、制御信号(1、2)に合わせて位相をずらしながら被計測物体へと投射する第1、第2の光投射手段A、B(201、202)と、カメラ制御信号(3)を入力とし、制御信号(3)に合わせて被計測物体を撮像し、カメラ出力信号として出力するカメラA(203)と、カメラ出力制御信号(7)によりスイッチ(235)を介して切り替えられる、前記カメラ出力信号を入力として、第1、第2の光パターンA、Bにより撮像された画像列を記録しておき、随時、第1、第2の画像信号A-A、A-B(9、10)としてそれぞれ出力する第1、第2の画像記憶手段(206、207)と、位相計算制御信号によりスイッチ(230)を介して切り替えられる、前記第1又は第2の画像信号(9、10)を入力とし、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段(210)と、位相計算制御信号によりスイッチ(231)を介して振り分けられる、前記位相信号を入力とし、前記第1、第2の画像信号から計算した位相値を記録しておき随時、第1、第2の位相信号A-A、A-B(13、14)としてそれぞれ出力する第1、第2の位相記憶手段(211、212)と、前記第1、第2の位相信号(15、16)を入力とし、前記光投射手段(201)と前記カメラ(203)の位置を基にして、前記第1の位相信号(15)における注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2の光投射手段(202)の位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の位相信号(16)における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決

定することを、前記第1の位相信号の全画素について繰り返し、前記第1の位相信号に対応して第1の絶対位相信号(22)を、前記第2の位相信号Bに対応して第2の絶対位相信号(23)を出力する絶対位相決定手段(216)と、三次元座標計算制御信号によりスイッチ(232)を介して切り替えられる、前記第1又は第2の絶対位相信号(22、23)とスイッチ(232)を介して切り替えられる、前記第1又は第2の位相信号を入力とし、前記第1又は第2の位相信号中における絶対位相が未決定である画素について、周辺の絶対位相が既に決定している画素からの差が小さくなるように絶対位相を決定してゆくことを、前記第1又は第2の位相信号の全画素について繰り返し、それぞれ第1又は第2の絶対位相変換信号(32)として出力する絶対位相変換手段(221)と、三次元座標計算制御信号によりスイッチ(234)を介して切り替えられる、第1又は第2の絶対位相変換信号を入力とし、前記第1又は第2の光投射手段(201、202)と前記カメラ(203)の位置を基にして、三次元座標値へと変換し、第1又は第2の三次元座標信号(34)として出力する三次元座標変換手段(222)と、前記第1、第2の三次元座標信号を入力とし、それぞれの前記第1、第2の光投射手段(201、202)に対応する三次元座標値を記録しておき随時、第1、第2の三次元座標信号として出力する第1、第2の三次元座標記憶手段(223、224)と、前記第1、第2の三次元座標信号を入力とし、互いに欠けているデータを補完して合成し、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段(226)と、前記第1、第2の光投射手段制御信号、前記カメラ制御信号、前記カメラ出力制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、前記第1、第2の光投射手段を切り替えて位相をずらしながら撮像する制御、カメラ出力を切り替える制御、位相計算の入出力の制御、三次元座標計算の入出力の制御を行う光投射手段・カメラ制御手段(251)と、を備えている。

【0092】本発明の第2の実施の形態において、前記絶対位相決定手段(216)は、前記第1、第2の位相信号A、Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記カメラの位置を基にして、前記第1の位相信号Aにおける注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Bと前記第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の位相信号Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記第2の位相信号B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記第1、第2の位相信号A、Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第2の光投射手段Bと前記カメラの位置を基にして、前記第2の位相信号Bにおける前記一意決定画

素信号における初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1の光投射手段Aと前記第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の位相信号Aにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記第1の位相信号Aに対応して第1の絶対位相信号Aを、前記第2の位相信号Bに対応して第2の絶対位相信号Bを出力する第2の絶対位相決定手段と、前記第1の位相信号Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段と、を含む。

【0093】三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する光投射手段を備える。

【0094】本発明は、第3の実施の形態において、図8を参照すると、第1、第2の光投射手段制御信号A、B(1、2)をそれぞれ入力とし、二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、制御信号に合わせて位相をずらしながら計測物体へと投射する第1、第2の光投射手段A、B(201、202)と、第1、第2のカメラ制御信号A、Bをそれぞれ入力とし、制御信号に合わせて計測物体を二つの異なる方向から撮像し、第1、第2のカメラ出力信号(A、B)として出力する第1、第2のカメラA、B(203、204)と、カメラ出力制御信号(7、8)によりスイッチ(241、242)を介して切り替えられる、第1、第2のカメラ出力信号A、Bを入力とし、二つの光パターンでそれぞれ第1、第2のカメラで撮像された画像列として、前記第1の光投射手段と前記第1のカメラ、前記第2の光投射手段と前記第1のカメラ、前記第1の光投射手段と前記第2のカメラ、前記第2の光投射手段と前記第2のカメラの組み合わせよりなる、画像列を記録するとともに、それぞれ、第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bとして出力する第1乃至第4の画像記憶手段(206~209)と、位相計算制御信号(14)によりスイッチ(243)を介して切り替えられる、前記第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-AまたはB-Bを入力として、画像列から各画素毎に初期位相値を計算して位相信号として出力する位相計算手段(210)と、位相計算制御信号(14)によりスイッチ(244)を介して切り替えられる、前記位相信号を入力とし、前記第1乃至第4の画像信号A-A、A-B、B-A、B-Bから計算した位相値を記録するとともに、第1乃至第4の位相信号A-A、A-B、B-A、B-Bとしてそれぞれ出力する第1乃至第4の位相記憶手段(211~214)と、位相信号A-Aと位相信号B-Aを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A(A-A/B-A)、絶対位相信号B-

A(A-A/B-A)として出力する第1の絶対位相決定手段(215)と、位相信号A-Bと位相信号B-Bを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-B(A-B/B-B)、絶対位相信号B-B(A-B/B-B)として出力する第2の絶対位相決定手段(219)と、を備え、前記第1、第2の絶対位相決定手段については、光投射手段が一つ、カメラが二つの組における絶対位相の決定である、前記第1の実施の形態における前記絶対位相決定手段と全く処理を行ない、位相信号A-Aと位相信号A-Bを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A(A-A/A-B)、絶対位相信号A-B(A-A/A-B)として出力する第3の絶対位相決定手段(216)と、位相信号B-Aと位相信号B-Bを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号B-A(B-A/B-B)、絶対位相信号B-B(B-A/B-B)として出力する第4の絶対位相決定手段(220)と、を備え、前記第3、第4の絶対位相決定手段については、光投射手段は二つ、カメラが一つの組における絶対位相の決定である、前記第2の実施の形態の絶対位相決定手段と全く処理を行ない、位相信号A-Aと位相信号B-Bを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について、画像A(光パターンA)上の絶対位相決定画素とその絶対位相を絶対位相信号A-A(A-A/B-B)として、また画像B(光パターンB)については絶対位相信号B-B(A-A/B-B)として出力する第5の絶対位相決定手段(217)と、位相信号A-Bと位相信号B-Aを入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について画像A(光パターンB)上の絶対位相決定画素とその絶対位相を絶対位相信号A-B(A-B/B-A)として、また画像B(光パターンA)については絶対位相信号B-A(A-B/B-A)として出力する第6の絶対位相決定手段(218)と、を備える。

【0095】さらに、三次元座標計算制御信号(33)によりスイッチ(245)を介して切り替えられる位相信号と絶対位相信号とを入力とし、絶対位相信号を参照しながら、位相信号中の絶対位相が得られていない画素位置の位相値を、絶対位相へと変換する絶対位相変換手段であって、位相信号A-Aと、絶対位相信号A-A(A-A/B-A)、A-A(A-A/A-B)、A-A(A-A/B-B)、位相信号A-Bと、絶対位相信号A-B(A-A/A-B)、A-B(A-B/B-A)、A-B(A-B/B-B)、位相信号B-Aと、絶対位相信号B-A(A-A/A-B)、B-A(A-B/B-A)、B-A(B-A/B-B)、位相信号B-Bと、絶対位相信号B-B(A-A/B-B)、B-B(A-B/B-B)、B-B(B-A/B-B)の各組よりなり、絶対位相が得られている画素は、全ての絶対位相信号の論理積により判定し、絶対位相変換信号として出力する絶対位相変換手段

(221)と、絶対位相交換信号と三次元座標計算制御信号とを入力とし、前記位相信号A-Aから求めた絶対位相である場合、前記第1の光投射手段A、第1のカメラAの位置関係及び内部構成に応じたパラメータにより三次元座標値へと変換して三次元座標信号として出力し、同様に、位相信号A-Bから求めた絶対位相であるならば、前記第2の光投射手段、第1のカメラの位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて三次元座標値へと変換して三次元座標信号として出力し、位相信号B-Aから求めた絶対位相であるならば、前記第1の光投射手段、第2のカメラBの位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて三次元座標値へと変換し三次元座標信号として出力し、位相信号B-Bから求めた絶対位相であるならば、前記第2の光投射手段、前記第2のカメラの位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて、三次元座標値へと変換し三次元座標信号として出力する三次元座標交換手段(222)と、三次元座標交換手段で得られた前記第1の光投射手段Aと第1のカメラの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号A-Aとして出力する第1の三次元座標記憶手段(223)と、前記三次元座標交換手段で得られた前記第2の光投射手段Aと第1のカメラの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号A-Bとして出力する第2の三次元座標記憶手段(224)と、前記第2の光投射手段Bと前記第1のカメラAの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号B-Aとして出力する第3の三次元座標記憶手段(225)と、前記第2の光投射手段Bと前記第2のカメラBの組による三次元形状情報を記憶しておき、三次元座標信号B-Bとして出力する第4の三次元座標記憶手段(226)と、三次元座標信号A-A、A-B、B-A、B-Bを入力とし、4つの形状情報を合成して、合成三次元座標信号として出力する三次元座標合成手段(227)と、前記光投射手段A、B、制御信号、前記カメラA、B制御信号、前記位相計算制御信号、前記三次元座標計算制御信号を出力して、光パターンを位相をずらしながらの撮像の制御、位相計算の入出力の制御、三次元座標計算の入出力の制御を行う光投射手段・カメラ制御手段(253)と、を備えている。

【0096】本発明の第3の実施の形態において、前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、B-Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラBの位置を基にして、前記第2の光投射手段Bの光パターンにより前記第2のカメラBの位置から得られた前記位相信号B-Bにおける第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補

群を求め、第1、第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、前記位相信号B-B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段(217)と、前記位相信号A-A、B-Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第2のカメラBの位置を基にして、一意に決定できた三次元座標位置に対応する画素の、前記第2の光投射手段Bの光パターンによる初期位相から、対応する第3の三次元座標位置候補群を求め、前記第1のカメラAの位置を基にして、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける第3の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第4の三次元座標位置候補群を求め、第3、第4の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Bに対応して絶対位相信号B-Bを出力する第2の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段と、を備える。

【0097】前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、B-Aを入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラBの位置を基にして、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第2のカメラBの位置から得られた前記位相信号B-Aにおいて前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、該当画素の初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Aに対応して絶対位相信号B-Aを出力する。

【0098】前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、B-Aと、注目画素位置信号を入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2のカメラBの位置を基にして、前記光投射手段Aの光パターンにより前記第2のカメラBの位置から得られた前記位相信号B-Aにおいて第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期

位相を参照し、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号B-A上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-A、B-Aと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第2のカメラBの位置を基にして、前記位相信号B-Aにおける前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記第1のカメラAの位置を基に、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記カメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおいて第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記位相信号B-Aにおける一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定し、以上の二つの判定処理により一意に決定できた場合に該画素位置により三次元座標位置を求め、前記位相信号A-A、B-Aにおける街頭画素の初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号B-Aに対応して絶対位相信号B-Aを出力する第2の絶対位相信号決定手段と、前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段と、を備える。

【0099】前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、A-Bを入力として、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求め、前記第2の光投射手段Bの位置と前記三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の光投射手段Bの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定し、一意に決定できた三次元座標位置から、該当画素の初期位相の絶対値を決定することを、前記位相信号A-Aの全画素について繰り返し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号A-Bに対応して絶対位相信号A-Bを出力する。

【0100】前記絶対位相決定手段において、前記位相信号A-A、A-Bと、注目画素位置信号を入力とし、前記第1の光投射手段Aと前記第1のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Aにおける注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求め、前記第2の光投射手段Bの位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の光投射手段Bの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた位相信号A-Bにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意

に決定できるかどうか判定して、該画素の前記位相信号A-B上における画素位置と初期位相を一意決定画素信号として出力する第1の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-A、A-Bと前記一意決定画素信号とを入力とし、前記第2の光投射手段Bと前記第2のカメラAの位置を基にして、前記位相信号A-Bにおける注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求め、前記光投射手段Aの位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の光投射手段Aの光パターンにより前記第1のカメラAの位置から得られた前記位相信号A-Aにおける前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定し、異常の二つの判定処理により一意に決定できた場合に一意となった三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定し、前記位相信号A-Aに対応して絶対位相信号A-Aを、前記位相信号A-Bに対応して絶対位相信号A-Bを出力する第2の絶対位相決定手段と、前記位相信号A-Aの全画素を順にスキャンして注目画素位置信号を出力する第3の絶対位相決定手段と、を備える。

【0101】三つ以上の異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを、位相をずらしながら計測物体へと投射する手段を備える。また三つ以上の異なる方向から撮像するカメラを備えてもよい。投射する光パターンが、正弦波状である。また投射する光パターンは、三角波状であってもよい。

【0102】本発明の三次元形状計測方法は、その第1の実施の形態において、以下のステップより構成される。

【0103】ステップa：空間的に縞状の輝度分布を持つ光パターンを光投射手段から位相をずらしながら被計測物体へ投射する。

【0104】ステップb：光パターンを位相をずらしながら照射した前記被計測物体を二つの異なる方向から第1、第2の撮像手段で撮像する。

【0105】ステップc：前記二つの方向からそれぞれ撮像された第1、第2の画像列から各々について第1、第2の初期位相画像を導出する。

【0106】ステップd：前記光パターンの投射位置と第1の撮像位置とを基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める。

【0107】ステップe：前記光パターンの投射位置と第2の撮像位置とを基にして、前記第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定する。一意に決定できない場合ステップgに移る。

【0108】ステップf：一意に決定できる場合には一

意に決定された画素位置に基づき、三次元座標位置を求め、前記第1、第2の初期位相画像における該画素の初期位相の絶対値を決定する。

【0109】ステップg：前記第1の初期位相画像の全画素について前記(d)乃至(f)のステップを行ったか否かを判定し、未処理の画素があればステップdへ戻る。

【0110】ステップh：前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、前記第1、第2の初期位相画像から第1、第2の絶対位相画像へ変換する。

【0111】ステップi：前記第1、第2の絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記光パターンの投射位置と前記第1、第2の画像の撮像位置とを基に、各画素における前記被計測物体の三次元座標位置を求める。

【0112】なお、上記各ステップは、撮像手段からの画像データを入力し、且つ撮像手段及び光投射手段を制御するコンピュータ上で実行されるプログラムによってその処理が実行され、この場合、該プログラムを記録したFD又はCD-ROM、通信媒体から読み込まれたプログラムを該コンピュータで読み出し実行することで本発明を実施することができる。

【0113】本発明の方法においては、初期位相画像から初期位相の絶対値を決定するステップ(f)は、以下のステップf-1乃至f-6よりなる。

【0114】ステップf-1：光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から対応する第1の三次元座標位置候補群を求める。

【0115】ステップf-2：前記第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるか否かを判定する。

【0116】ステップf-3：光パターン投射位置と第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める。

【0117】ステップf-4：前記第1の撮像位置を基に、前記第1の初期位相画像において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の初期位相画像における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるか否かを判定する。

【0118】ステップf-5：両ステップf-2、f-4により、一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記第1、第2の初期位相画像における該画素の初期位相の絶対値を決定する。

【0119】ステップf-6：前記第1の初期位相画像

の全画素について前記ステップf-1乃至f-5の処理を行ったか否かを判定し未処理の画素がある場合ステップf-1へ戻る。

【0120】本発明の三次元形状計測方法は、その第2の実施の形態において、以下のステップより構成される。

【0121】ステップa：第1、第2の光投射手段より、二つの異なる方向からそれぞれ空間的に縞状の輝度分布を持つ第1、第2の光パターンを、位相をずらしながら被計測物体へと投射する。

【0122】ステップb：前記第1の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を撮像手段で撮像した後、前記第2の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を撮像する。

【0123】ステップc：前記第1、第2の光パターンにより撮像された第1、第2の画像列から、それぞれについて第1、第2の初期位相画像を導出する。

【0124】ステップd：前記第1の光パターンの投射位置と撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める。

【0125】ステップe：前記第2の光パターンの照射位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否かを判定する。

【0126】ステップf：一意に決定できた三次元座標位置から、前記第1、第2の光パターンの初期位相の絶対値を決定する。

【0127】ステップg：前記ステップd乃至ステップfを前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す。

【0128】ステップh：前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、前記第1、第2の初期位相画像から第1、第2の絶対位相画像へ変換する。

【0129】ステップi：前記第1、第2の絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記二つの光パターン投射位置と画像撮像位置を基に、各画素における前記被計測物体の三次元座標位置を求める。

【0130】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定するステップ(f)は以下のステップを含む。

【0131】ステップf-1：第1の光パターン投射位置と撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める。

【0132】ステップf-2：第2の光パターン照射位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第2の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるか否かを判定する。

【0133】ステップf-3：第2の光パターン投射位置と撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める。

【0134】ステップf-4：第1の光パターン照射位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、前記第1の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるか否かを判定する。

【0135】ステップf-5：ステップf-2、f-4 10 により一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する。

【0136】ステップf-6：前記ステップf-1乃至5を第1の初期位相画像の全画素について繰り返す。

【0137】なお、上記各ステップは、撮像手段からの画像データを入力し、且つ撮像手段及び光投射手段を制御するコンピュータ上で実行されるプログラムによってその処理が実行され、この場合、該プログラムを記録したFD又はCD-ROM、通信媒体から読み込まれたプログラムを該コンピュータで読み出し実行することで本 20 発明を実施することができる。

【0138】本発明の三次元形状計測方法は、その第3の実施の形態において、以下のステップより構成される。

【0139】ステップa：第1、第2の光投射手段より二つの異なる方向からそれぞれ、空間的に縞状の輝度分布を持つ第1、第2の光パターンを、位相をずらしながら被計測物体へと投射する。

【0140】ステップb：第1の光パターンを位相をずらしながら照射し前記被計測物体を二つの異なる方向から撮像した後、第2の光パターンを位相をずらしながら照射し同様に二つの異なる方向から第1、第2の撮像手段で前記被計測物体を撮像する。

【0141】ステップc：前記第1の光パターンにより第1、第2の撮像手段でそれぞれ二つの方向から撮像された第1、第2の画像列から、それぞれについて第1、第2の初期位相画像を導出する。

【0142】ステップd：前記第2の光パターンにより第1、第2の撮像手段でそれぞれ二つの方向から撮像された第3、第4の画像列から、それぞれについて第3、 40 第4の初期位相画像を導出する。

【0143】ステップe：前記第1の光パターンの投射位置と第1の撮像位置とを基にして、前記第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める。

【0144】ステップf：前記第2の撮像位置を基にして、第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第4の初期位相画像における第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相 50

から第2の三次元座標位置候補群を求める。

【0145】ステップg：前記第1、第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるか否かを判定する。

【0146】ステップh：一意に決定できた三次元座標位置から、前記第1、第2の光パターンの初期位相の絶対値を決定する。

【0147】ステップi：前記ステップ(e)乃至(h)を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す。

【0148】ステップj：前記光パターンの初期位相の絶対値を参照しながら、第1乃至第4の初期位相画像から第1乃至第4の絶対位相画像へ変換する。

【0149】ステップk：前記第1乃至第4の該絶対位相画像の各画素における絶対位相と、前記二つの光パターン投射位置と画像撮像位置を基に、各画素における被計測物体の三次元座標位置を求める。

【0150】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定するステップ(h)は以下のステップを含む。

【0151】ステップh-1：第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める。

【0152】ステップh-2：第2の撮像位置を基にして、第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた初期位相画像における第1の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第2の三次元座標位置候補群を求める。

【0153】ステップh-3：第1、第2の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定する。

【0154】ステップh-4：第2の撮像位置を基にして、一意に決定できた三次元座標位置に対応する画素の初期位相から、対応する第3の三次元座標位置候補群を求める。

【0155】ステップh-5：第1の撮像位置を基にして、第2の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第1の初期位相画像における第3の三次元座標位置候補群の対応画素位置群を求め、該対応画素群の初期位相から第4の三次元座標位置候補群を求める。

【0156】ステップh-6：第3、第4の三次元座標位置候補群を比較し、重複する座標点が一意に決定できるかどうか判定する。

【0157】ステップh-7：一意に決定できた三次元座標位置から、二つの光パターンの初期位相の絶対値を決定する。

【0158】ステップh-8：前記ステップ(h-1)乃至(h-7)を第1の初期位相画像の全画素について繰り返す。

【0159】また初期位相画像から初期位相の絶対値を決定するステップ(h)は以下のステップを含む。

【0160】ステップh-1:第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める。

【0161】ステップh-2:第2の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第2の初期位相画像において前記三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する。

【0162】ステップh-3:一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する。

【0163】ステップh-4:前記ステップh-1乃至h-3を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す。

【0164】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定するステップ(h)は以下のステップを含むようにしてもよい。

【0165】ステップh-1:第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める。

【0166】ステップh-2:第2の撮像位置を基にして、第1の光パターンにより第2の撮像位置から得られた第2の初期位相画像において前記第1の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定できるかどうか判定する。

【0167】ステップh-3:第1の光パターン投射位置と第2の撮像位置を基にして、前記第2の初期位相画像における前記一意に決定された画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める。

【0168】ステップh-4:第1の撮像位置を基に、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第1の初期位相画像において前記第2の三次元座標位置群に対応する画素位置群を求めてそれぞれの初期位相を参照し、前記第2の初期位相画像における一意に決定された画素の初期位相と比較し、同一の初期位相を持つ対応画素位置が一意に決定されるかどうか判定する。

【0169】ステップh-5:ステップh-3、4により一意に決定できた画素位置により三次元座標位置を求め、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する。

【0170】ステップh-6:前記ステップh-1乃至h-5を第1の初期位相画像の全画素について繰り返

す。

【0171】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定するステップ(h)は以下のステップを含む。

【0172】ステップh-1:第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する三次元座標位置候補群を求める。

【0173】ステップh-2:第2の光パターン照射位置と三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第3の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定する。

【0174】ステップh-3:一意に決定できた三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する。

【0175】ステップh-4:前記ステップh-1乃至3を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返し初期位相の絶対値を決定する。

【0176】初期位相画像から初期位相の絶対値を決定するステップ(h)は以下のステップを含む。

【0177】ステップh-1:第1の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第1の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第1の三次元座標位置候補群を求める。

【0178】ステップh-2:第2の光パターン照射位置と第1の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第2の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第3の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定できるかどうか判定する。

【0179】ステップh-3:第2の光パターン投射位置と第1の撮像位置を基にして、前記第3の初期位相画像における注目画素の初期位相から、対応する第2の三次元座標位置候補群を求める。

【0180】ステップh-4:第1の光パターン照射位置と第2の三次元座標位置候補群から、取り得る位相値群を参照し、第1の光パターンにより第1の撮像位置から得られた第1の初期位相画像における前記注目画素の初期位相と比較し、同一となる初期位相が一意に決定されるかどうか判定する。

【0181】ステップh-5:両ステップh-3、4により一意に決定できた三次元座標位置から、前記初期位相画像における該当画素の初期位相の絶対値を決定する。

【0182】ステップh-6:前記ステップh-1乃至h-5を前記第1の初期位相画像の全画素について繰り返す。なお、上記各ステップは、撮像手段からの画像データを入力し、且つ撮像手段及び光投射手段を制御するコンピュータ上で実行されるプログラムによってその処

理が実行され、この場合、該プログラムを記録したF D又はC D-R O M、通信媒体から読み込まれたプログラムを該コンピュータで読み出し実行することで本発明を実施することができる。

【0183】

【実施例】本発明の実施例について図面を参照して以下に説明する。図1は、本発明に係る三次元形状計測装置の第1の実施例の構成を示すブロック図である。図2は、本発明の一実施例における光投射、物体とカメラの様子を説明するための図である。

【0184】空間的に正弦波状の輝度分布をなす光パターンを投射する光投射手段A 201は、光投射手段A制御信号1を入力とし、該信号に合わせて正弦波光パターンの位相値を $2\pi/4$ ずつずらす。カメラA 203、B 204は、それぞれカメラA制御信号3、カメラB制御信号4を入力とし、該信号に合わせて画像を取り込み、カメラA出力信号5、カメラB出力信号6を出力する。

【0185】光投射手段・カメラ制御手段205は、光投射器A制御信号1、カメラA制御信号3、カメラB制御信号4を出力し、光投射手段A 201から投射される正弦波光パターンの位相値を $2\pi/4$ ずつずらしてカメラA 203、B 204で画像撮影する処理を、計4回繰り返させる。

【0186】また位相計算制御信号14を出力し、カメラA 203、B 204の画像を切り替えて位相の計算を制御したり、三次元座標計算制御信号33を出力して計算する三次元形状を制御する。

【0187】画像記憶手段A-A 206は、カメラA出力信号5を入力とし、カメラA 203から送られてきた異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記録しておき、画像信号A-A 9として出力する。

【0188】画像記憶手段B-B 208も同様に、カメラB出力信号6を入力とし、カメラB 204から送られてきた異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記録しておき、画像信号B-A 11として出力する。

【0189】位相計算手段210は、位相計算制御信号14により制御される画像信号A-A 9または画像信号B-A 11を入力とし、異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像群から、画素毎に、上式(6)に基づいて、位相値を計算し、位相信号13として出力する。

【0190】位相記憶手段A-A 211は位相計算制御信号14により制御される位相信号13を入力とし、画像信号A-A 9から計算された位相値を記録しておき、位相信号A-A 15として出力する。

【0191】位相記憶手段B-B 213は、同様に、位相計算制御信号14により制御された位相信号13を入力とし、画像信号B-A 11から計算された位相値を記録しておき、位相信号B-A 17として出力する。

【0192】絶対位相決定手段A-A/B-A 215は、位相信号A-A 15と位相信号B-A 17を入力として、

絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A (A-A/B-A) 20、絶対位相信号B-A (A-A/B-A) 21として出力する。

【0193】図3は、絶対位相決定方法を説明するための図である。カメラA 203、B 204により撮影した画像A 117、B 118上に物体が、画像A上の物体119、画像B上の物体120としてそれぞれ写っているとする。

【0194】画像A上の物体119中の一点である点P 121の位相値が、 α_p であるとする。図3(c)に示すように、光投射手段A 201から投射される正弦波光パターンの位相を $-\pi$ から π までに折り畳んだときに α_p になる空間的な位置は、点P₁₂₂、点P₁₂₃、点P₁₂₄となる。画像B上におけるこれらの点 π ($i=1,2,3$)の画素位置における位相値 α_i を調べ、 $\alpha_p \pm \varepsilon$ の範囲に入る点が唯一であれば、三次元空間上の点Pを唯一に定めることができる。これにより点Pの三次元座標位置が決定され、更に投射している絶対位相を決定することができる。但しここで ε は、あらかじめ与えた閾値であるとする。

【0195】処理対象となる位相値が $-\pi$ から π に折り畳まれていることから、上記の位相の一致判定処理は、実際にはもう少し複雑となる。以下に処理をまとめる。

【0196】(1) $\alpha_p - \varepsilon \geq -\pi$ の場合：

(1-1) $\alpha_p + \varepsilon < \pi$ の場合：

- ・点P_iが持つ位相値 α_i が、 $\alpha_p - \varepsilon \leq \alpha_i$ 、かつ $\alpha_i \leq \alpha_p + \varepsilon$ が真であれば位相値は一致と判定
- ・それ以外は位相値は不一致と判定

(1-2) $\alpha_p + \varepsilon \geq \pi$ の場合：

- ・点P_iが持つ位相値 α_i が、 $\alpha_i \leq \alpha_p + \varepsilon - 2\pi$ 、または $\alpha_p - \varepsilon \leq \alpha_i$ が真であれば位相値は一致と判定
- ・それ以外は位相値は不一致と判定

(2) それ以外の場合

(2-1) $\alpha_p + \varepsilon < \pi$ の場合：

- ・点P_iが持つ位相値 α_i が、 $\alpha_i \leq \alpha_p + \varepsilon$ 、または $\alpha_p - \varepsilon + 2\pi \leq \alpha_i$ が真であれば位相値は一致と判定
- ・それ以外は位相値は不一致と判定

(2-2) $\alpha_p + \varepsilon \geq \pi$ の場合：(ε を大きくとりすぎであり、本発明ではありえない条件)

- ・全ての位相値が一致と判定

以上の絶対位相決定処理を画像A 117上全ての点について繰り返すことにより、画像A 117、B 118上で、それぞれ複数画素の絶対位相を決めることが可能となる。

【0197】画像A 117上で絶対位相が決定できた画素とその絶対位相を、絶対位相信号A-A (A-A/B-A) 20として、また画像B 118について絶対位相信号B-A (A-A/B-A) 21として出力する。これにより従来法では自動処理が困難であった絶対位相の決定、即ち絶対的な三次元形状計測が可能となる。

【0198】絶対位相変換手段221は、位相信号A-A 15、B-A 17と絶対位相信号A-A (A-A/B-A) 2

0. $B-A(A-A/B-A)$ 21とを、三次元座標計算制御信号33により切り替えて入力とし、絶対位相信号を参照し、位相信号中において絶対位相が得られていない画素の位相値を絶対位相へと変換し、絶対位相変換信号32として出力する。

【0199】図4は、絶対位相画像を説明するための図である。図4(a)は画像A 117、図4(b)は絶対位相画像A 125であるとする。絶対位相画像A 125上に、絶対位相決定手段A-A/B-A 215によって既に絶対位相が得られている画素群を記号■で示し、絶対位相決定済画素群126として表わしている。

【0200】絶対位相決定済画素群126の各画素に接している、絶対位相が未決定の画素にまず注目し、絶対位相決定済画素との位相差が 2π 以下となるよう 2π の整数倍を加減する。この手続きを、全未決定位相値に対して繰り返すことにより、絶対位相が未決定の画素の絶対位相を計算してゆく。

【0201】カメラA 203、B 204の双方から見えている領域内では、絶対位相が既にわかっている画素のほぼ均等な出現が期待でき、従来困難であった自動的な位相接続処理を安定して実行することができる。

【0202】三次元座標変換手段222は、絶対位相変換信号32と三次元座標計算制御信号33とを入力とし、位相信号A-A 15から求めた絶対位相であるならば光投射手段A 201、カメラA 203の位置関係や内部構成に応じたパラメータにより、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。同様に位相信号B-A 17から求めた絶対位相であるならば、光投射手段A 201、カメラB 204の位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。

【0203】三次元座標記憶手段A-A 223は、三次元座標変換手段222で得られた光投射手段A 201とカメラA 203の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時、三次元座標信号A-A 35として出力する。

【0204】三次元座標記憶手段B-A 225は同様に、光投射手段A 201とカメラB 204の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時、三次元座標信号B-A 37として出力する。

【0205】三次元座標合成手段226は、三次元座標信号A-A 35、B-A 37を入力とし、2つの形状情報を合成して、合成三次元座標信号39として出力する。これにより死角を低減した三次元形状計測結果を得ることができる。

【0206】本実施例における光投射手段A 201は、空間的に正弦波状に輝度分布をなす光パターンが投射可能であり、あるステップで該正弦波光パターンの位相値をずらしてゆけるものならば何でも良い。例えば文献

(1) (「縞走査を導入した格子パターン投影法」)では液晶格子を利用している。また同文献にあるように、

必ずしも厳密な正弦波パターンでなくとも計測に影響はなく、本発明を構成することができる。また光パターンは三角波状のものであっても本発明を構成することができる。

【0207】カメラA 203、B 204は、それぞれ制御信号により、画像取り込む構成とされているが、通常のビデオカメラのような画像信号を常時出力するカメラを利用し、画像を取り込む手段で画像取り込みタイミングを図るようにしてもよい。

【0208】位相のシフト量として、 $2\pi/4$ 、撮影回数を4回、位相計算法を、上式(6)と記述したが、文献(5) (「Comparison of Phase-measurement Algorithms」、SPIE Vol.680, Surface Characterization and Testing, pp.19-28, 1986年)に記載されているように、様々な回数や位相シフト量、位相計算方法を採用しても、本発明を同様に構成することができる。カメラA 203、B 204で独立に、撮影回数などが異なっても、位相値が計算できさえすればよい。

【0209】位相計算手段210では、単に位相計算すると記述したが、同時に、上式(1)における正弦波の振幅 $A(x)$ を計算し、あらかじめ設定した閾値よりも振幅の大きい、即ち信頼度の高い位相値のみを出力するようにしてもよい。振幅 $A(x)$ は、式(12)により簡単に求めることができる。

$$A(x) = \sqrt{[a_1(x)]^2 + [b_1(x)]^2} \quad \dots(12)$$

【0210】上記絶対位相決定手段A-A/B-A 215では、画像A 117上の点Pに幾何的に対応する画像B 118上の点P₁、点P₂、点P₃について、位相値が一致する点が一意に決定できるかどうかを判定しているが、画像A 117、B 118の役割を逆転してもよい。更に画像A 117、B 118両方についての一意性の判定を組み合わせることで、絶対位相決定処理をより信頼性高く実行することもできる。

【0211】上記絶対位相決定手段A-A/B-A 215において、点P₁、点P₂、点P₃、を求めるには、図13を用いて前述したように、式(11)を利用することが可能であった。しかし投射する光パターンが正弦波からずれていたり、微小なずれ自体が問題となるような高精度な計測が必要な場合には、理想的な位相と格子周期との関係式(9)からのずれを補正するように、本発明を構成することができる。

【0212】図15に、較正板を用いた、ずれ補正方法の説明図を示す。図15(a)に示すように、あらかじめ三次元的な座標位置がわかっている較正位置A 144に平面板を置き、光投射手段A 201から位相シフトを行いながら光パターンを投射し、カメラA 203、カメラB 204により画像を撮影する。得られた画像群からそれぞれ位相値を計算する。このとき、正弦波などからのずれが大きくなるとすると、求めた位相値から絶対位

相値への変換は、式(9)から予想される絶対位相値との差が最も小さくなるように、 2π の整数倍を加減するだけで得られる。該絶対位相値を、較正位置A144における絶対位相値テーブルとしておく。同様に、較正位置B145、C146、D147において位相値を計算し、テーブルとしておく。

【0213】次に、図16を参照して、ずれ補正付絶対位相決定手段A-A/B-A 254について説明する。

【0214】画素位置スキャン手段A 255は、位相値信号A-A 15を入力とし、該位相値信号A-A 15において画像上の画素を順に選択してゆき、選択した画素位置における位相値を、選択画素位相信号A 40として出力する。LUT A-A 259には、光投射手段A 201により投射された光パターンを、カメラA 203で観測したときの基準となる絶対位相値テーブルが保存されているとする。最近傍テーブル参照手段A-A 257は、該選択画素位相信号A 40と、LUT A-A 259を参照して得られる基準位相・座標信号A-A 42を入力として、対応するテーブルを引き出して選択基準位相・座標信号A-A 44として出力する。

【0215】以下では、この最近傍テーブル参照手段A-A 257の動作を、図15(b)を参照して詳細に説明する。

【0216】選択されている画素位置が、図3における*

$$\bar{P}_1 = \frac{(\alpha R_{PB} - \alpha_P) \cdot \bar{R}_{PA} + (\alpha_P - \alpha R_{PA}) \cdot \bar{R}_{PB}}{\alpha R_{PB} - \alpha R_{PA}} \quad \dots(14)$$

【0219】同様に点P2 123、点P3 124についても計算してゆく。

【0220】対応画素位置変換手段A 263は、上記候補点座標群信号A-A 26を入力として、カメラB 204において、点P1 122、点P2 123、点P3 124がどの画素位置に観測されるかを求めて、候補画素位置群信号A-A 48として出力する。

【0221】同一位相値判定手段A 265は、選択画素位相信号A 40と、位相値信号B-A 17と、候補画素位置群信号A-A 48とを入力とし、位相値 α_P と、カメラB 204から得られた位相画像中において、対応する画素位置の位相値とを比較し、同一であるか否かを判定する。同一であると判定される点が唯一に定めることができたとき、その三次元座標位置が唯一に決定でき、そのときの絶対位相を決定することができる。このときの絶対位相値を、絶対位相値信号A-A(A-A/B-A) 20として出力する。位相値信号B-A 17についても同様にして絶対位相を決めることができ、絶対位相値信号B-A(A-A/B-A) 21として出力する。

【0222】各較正位置A 144、B 145、C 146、D 147の間隔は、絶対位相値を、 $-\pi$ から π までの範囲内に折り畳んだときに、同一位相となる画素が現れない程度に狭く、かつ、式(14)による補間により、所用の精度が

* 点P 121であり、該点P 121における位相値が α_P であるとする。

【0217】カメラA 203から該点P121への視線方向P 148と、各較正位置A 144、B 145、C 146、D 147との交点である、点RPA、点RPB、点RPC、点RPDでの絶対位相値とを比較する。この比較は単に各較正位置に平板において位相値を計測したときに得られた位相画像上において、点P121が観測された位置と同一の画素位置における位相値との比較である。点RPAにおける絶対位相値が α_{RPA} 、点RPBにおける絶対位相値が α_{RPB} であるとする。もし視線方向P 148における計測された位相値 α_P に 2π の整数倍を加減することで、 $\alpha_{RPA} \sim \alpha_{RPB}$ の間におさまるとき、三次元座標点の候補点P1 122は点RPAと点RPBとを結ぶ線上に存在すると判定する。このとき点RPAと点RPBの三次元座標位置と位相値をそれぞれ組として、選択基準位相・座標信号A-A 44として出力してゆく。同様に点P2 123、点P3 124についても求めることができる。

【0218】内挿手段A-A 261は上記選択基準位相座標信号A-A 44を入力として点P1 122、点P2 123、点P3 124の三次元座標位置を計算し、候補座標群信号A-A 46として出力する。点P1 122が点RPAと点RPBの間にあると判定されており、两点の位相値 α_{RPA} と α_{RPB} の間におさまるよう調整した位相値を α'_P としたとき、点P1 122の座標位置を次式(14)により求めることとする。

得られるように広く設定すればよい。

【0223】同様に、三次元座標変換手段A-A 222についても、理論値からのずれを補正することが可能である。

【0224】図17を参照して、このずれ補正付三次元座標変換手段A-A 267について以下に説明する。なお、LUT A-A 259には、光投射手段A 201により投射された光パターンをカメラA 203で観測したときの基準となる絶対位相値テーブルが保存されているとする。

【0225】最近傍テーブル参照手段A-A 268は、絶対位相変換信号A-A 50と、LUT A-A 259を参照して得られる基準位相・座標信号A-A 42とを入力として、対応するテーブルを引き出して、基準位相・座標信号A-A 51として出力する。絶対位相変換信号A-A 50は、既に絶対位相へと変換されているために、前述のずれ補正付絶対位相決定手段A-A/B-A 254の場合と異なり、 2π の整数倍のオフセットを考慮することなく、基準面での位相値と比較するだけで、内挿に必要な前後の基準面における対応画素の三次元座標位置と絶対位相値を得ることができ、これを基準位相・座標信号a-A 51として出力することになる。

【0226】内挿手段A-A 261は、基準位相座標信号A-A 51を入力として、式(14)に基づいて、三次元座標

位置を計算し、三次元座標信号A-A 52として出力する。

【0227】絶対位相変換手段221では、絶対位相が決定済みである画素を中心にして絶対位相への変換を繰り返しているが、上記文献(2)（「A Review of Phase Unwrapping Techniques in Fringe Analysis」）に記載されている、様々な手法に、絶対位相が既に決定されて画素が存在することを取り入れるようにしてもよい。例えば絶対位相が得られている画素間において、本明細書において説明した位相格子計数/走査手法を適用することなどの方法に置き換えても、本発明を実施することができる。

【0228】また、本実施例では、カメラが二つとして説明したが、カメラを3つ以上であってもよい。

【0229】図5は、本発明に係る三次元形状計測装置の第2の実施例の構成を示すブロック図である。図6は、本発明の第2の実施例における光投射、物体とカメラの様子を説明するための図である。空間的に正弦波状の輝度分布をなす光パターンを投射する光投射手段A 201、B 202はそれぞれ、光投射手段A制御信号1、光投射手段B制御信号2を入力とし、該信号に合わせて該正

弦波の位相値を $2\pi/4$ ずつずらす。
【0230】カメラA 203はカメラA制御信号3を入力とし、該信号に合わせて画像を取り込みカメラA出力信号5を出力する。光投射手段・カメラ制御手段251は、光投射器A制御信号1、光投射器B制御信号2、カメラA制御信号3を出力し、光投射器A 201から正弦波光パターンを投射し、その位相値を $2\pi/4$ ずつずらしてカメラA 203で画像撮影する処理を、計4回繰り返して、次に光投射器B 202から正弦波光パターンを投射し、その位相値を $2\pi/4$ ずつずらしてカメラA 203で画像撮影する処理を計4回繰り返す。同時に、カメラA出力制御信号7を出力し、カメラA 203の出力先を切り替える。また位相計算制御信号14を出力し、カメラA 203、B 204の画像を切り替えて位相の計算を制御したり、三次元座標計算制御信号33を出力して計算する三次元形状を制御する。

【0231】画像記憶手段A-A 206は、カメラA出力信号5を入力とし、光投射手段A 201から投影された異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記録しておき、画像信号A-A 9として出力する。

【0232】画像記憶手段A-B 207も同様に、カメラA出力信号5を入力とし、光投射手段B 202から投影された異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記録しておき、画像信号A-B 10として出力する。

【0233】位相計算手段210は、位相計算制御信号14により切り替えられる画像信号A-A 9または画像信号A-B 10を入力とし、異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像群から、画素毎に上式(6)に基づいて位相値を計算し、位相信号13として出力する。

【0234】位相記憶手段A-A 211は位相計算制御信号14により制御された位相信号13を入力とし、画像信号A-A 9から計算された位相値を記録しておき、位相信号A-A 15として出力する。位相記憶手段A-B 212は同様に、位相計算制御信号14により制御された位相信号13を入力とし、画像信号A-B 10から計算された位相値を記録しておき、位相信号A-B 16として出力する。

【0235】絶対位相決定手段A-A/A-B 216は、位相信号A-A 15と位相信号A-B 16を入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A(A-A/A-B) 22・絶対位相信号A-B(A-A/A-B) 23として出力する。

【0236】図7は、該絶対位相決定方法の説明図である。光投射手段A 201で正弦波光パターンを投射し撮影した画像A(光パターンA)127と、光投射手段B 202で投射し撮影した画像B(光パターンB)128とは、それぞれ同じ物体が、画像A(光パターンA)上の物体129/画像A(光パターンB)上の物体130として撮影されている。画像A(光パターンA)上の物体129中の一点、点P 21の位相値が αp であるとする。

【0237】図7(c)に示すように、光投射手段A 201から投射される光パターンの位相を $-\pi$ から π までに折り畳んだときに αp になる空間的な位置は、点 $a P_1$ 、122・点 P_1 、123・点 P_1 、124となる。よって点 P_1 を光投射手段B 202から見たとき、各点に投射している位相はそれぞれ αp_i ($i=1,2,3$)であることがわかる。これらの点 P_1 の位相値 αp_i と、画像A(光パターンB)上の物体130の点P 121が持つ位相値 ϕp とを比較し、 $\alpha p_i \pm \varepsilon$ の範囲に入る点が唯一であれば、三次元空間上の点Pを唯一に定めることができる。

【0238】これにより点Pについて三次元座標位置が決定され、更にそれぞれの光投射手段A 201、B 202から投射している絶対位相を決定することができる。但しここで ε は、あらかじめ与えられた閾値であるとする。

【0239】処理対象となる位相値が $-\pi$ から π に折り畳まれていることから、上記の位相の一致判定処理は、実際にはもう少し複雑となる。手続きは、前記第1の実施例における絶対位相決定手段A-A/B-A 215における判定処理と同様である。

【0240】以上の絶対位相決定処理を、画像A(光パターンA)127上全ての点について繰り返すことにより、画像A(光パターンA) 127、A(光パターンB) 128上、それぞれ複数画素の絶対位相を決めることが可能となる。

【0241】画像A(光パターンA) 127上で絶対位相が決定できた画素とその絶対位相を、絶対位相信号A-A(A-A/A-B) 22として、また画像A(光パターンB) 128について絶対位相信号A-B(A-A/A-B) 23として出力する。これにより、従来法では自動処理が困難

であった絶対位相の決定、即ち絶対的な三次元形状計測が可能となる。

【0242】絶対位相変換手段221は、位相信号A-A 15、A-B 16と絶対位相信号A-A (A-A/A-B) 22、A-B (A-A/A-B) 23とを、三次元座標計算制御信号33により切り替えて入力とし、絶対位相信号を参照し、位相信号中の絶対位相が得られていない画素の位相値を前記第1の実施例と同様に絶対位相へと変換し、絶対位相変換信号32として出力する。

【0243】光投射装置A 201、B 202双方から正弦波光パターンが投射される領域内では、絶対位相が既にわかっている画素のほぼ均等な出現が期待でき、従来困難であった自動的な位相接続処理が安定に実行可能となる。

【0244】三次元座標変換手段222は、絶対位相変換信号32と三次元座標計算制御信号33とを入力とし、位相信号A-A 15から求めた絶対位相であるならば光投射手段A 201、カメラA 203の位置関係や内部構成に応じたパラメータにより三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。同様に位相信号A-B 16から求めた絶対位相であるならば、光投射手段B 202、カメラA 203の位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。

【0245】三次元座標記憶手段A-A 223は、三次元座標変換手段222で得られた光投射手段A 201とカメラA 203の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時三次元座標信号A-A 35として出力する。三次元座標記憶手段A-B 224は同様に、光投射手段B 202とカメラA 203の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時三次元座標信号A-B 36として出力する。

【0246】三次元座標合成手段226は、三次元座標信号A-A 35、A-B 36を入力とし、2つの形状情報を合成して、合成三次元座標信号39として出力する。これにより死角を低減した三次元形状計測結果を得ることができる。

【0247】本実施例における光投射手段A 201、B 202やカメラA 203については、前記第1の実施例と同様に、その構成を変更してもよい。

【0248】位相のシフト量として $2\pi/4$ 、撮影回数を4回、位相計算法を式(6)と記述したが、第1の実施例と同様に、位相値が計算できさえすればよく、本発明を構成することができる。また前記第1の実施例と同様に、位相計算手段210において、正弦波の振幅(x)を計算し、あらかじめ設定した閾値よりも振幅の大きい、即ち信頼度の高い位相値のみを出力することでも、本発明を構成することができる。

【0249】絶対位相決定手段A-A/A-B 216では、画像A (光パターンA) 127上の点Pに幾何的に対応する三次元座標点P₁、点P₂、点P₃について、画像A

(光パターンB) 128の位相値と一致する点が一意に決定できるかどうかを判定する、と記述したが、画像A (光パターンA) 127と画像A (光パターンB) 128の役割を逆転してもよい。更に画像A (光パターンA) 127と画像A (光パターンB) 128両方についての一意性の判定を組み合わせることで、絶対位相決定をより信頼性高く行うこともできる。

【0250】絶対位相変換手段221では、前記第1の実施例と同様に構成を変更しても、本発明を構成することができる。また本実施例では、光投射手段が二つとして説明したが、光投射手段は二つ以上いくつであってもよい。

【0251】また絶対位相変換手段221において、投射する光パターンが正弦波からずれていたり、微小なずれ自体が問題となるような高精度な計測が必要な場合には、理想的な位相と格子周期との関係式(9)からのずれを補正するように、図15、図16、図17を参照して説明した手法を利用して、本発明を実施することができる。

【0252】図8は、本発明に係る三次元形状計測装置の第3の実施例を示すブロック図である。図9は、本発明の第3実施例における光投射、物体とカメラの様子を説明するための図である。

【0253】空間的に正弦波状の輝度分布をなす光パターンを投射する光投射手段A 201、B 202はそれぞれ、光投射手段A制御信号1、光投射手段B制御信号2を入力とし、該信号に合わせて正弦波光パターンの位相値を $2\pi/4$ ずつずらす。カメラA 203、B 204はそれぞれカメラA制御信号3・カメラB制御信号4を入力とし、該信号に合わせて画像を取り込みカメラA出力信号5、カメラB出力信号6を出力する。

【0254】光投射手段・カメラ制御手段253は、光投射器A制御信号1、光投射器B制御信号2、カメラA制御信号3、カメラB制御信号4を出力し、光投射器A 201から投射される正弦波光パターンの位相値を $2\pi/4$ ずつずらしてカメラA 203、B 204で画像撮影する処理を、計4回繰り返す。次に光投射器B 202から投射される正弦波光パターンの位相値を $2\pi/4$ ずつずらして、カメラA 203、B 204で画像撮影する処理を、計4回繰り返す。

【0255】同時に、カメラA出力制御信号7・カメラB出力制御信号8を出力し、カメラA 203・B 204の出力先を切り替える。また位相計算制御信号14を出力し、光投射手段A 201、B 202とカメラA 203、B 204の組で撮影された画像を切り替えて位相の計算を制御したり、三次元座標計算制御信号33を出力して計算する三次元形状を制御する。

【0256】画像記憶手段A-A 206は、カメラA出力信号5を入力とし、光投射手段A 201から投影された異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記

録しておき、画像信号A-A 9として出力する。画像記憶手段A-B 207は同様に、カメラA出力信号5を入力とし、光投射手段B 202から投影された異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記録しておき、画像信号A-B 10として出力する。

【0257】画像記憶手段B-A 208は、カメラB出力信号6を入力とし、光投射手段A 201から投影された異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記録しておき、画像信号B-A 11として出力する。画像記憶手段B-B 207は、同様に、カメラB出力信号6を入力とし、光投射手段B 202から投影された異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像を順次記録しておき、画像信号B-B 12として出力する。

【0258】位相計算手段210は、位相計算制御信号14により切り替えられる画像信号A-A 9、A-B 10、B-A 11、B-B 12を入力とし、異なる位相の正弦波光パターンで撮影された画像群から、画素毎に上式(6)に基づいて位相値を計算し、位相信号13として出力する。

【0259】位相記憶手段A-A 211は、位相計算制御信号14により制御された位相信号13を入力とし、画像信号A-A 9から計算された位相値を記録しておき、位相信号A-A 15として出力する。

【0260】位相記憶手段A-B 212は、位相計算制御信号14により制御された位相信号13を入力とし、画像信号A-B 10から計算された位相値を記録しておき、位相信号A-B 16として出力する。

【0261】位相記憶手段B-A 213は、位相計算制御信号14により制御された位相信号13を入力とし、画像信号B-A 11から計算された位相値を記録しておき、位相信号B-A 17として出力する。

【0262】位相記憶手段B-B 214は、位相計算制御信号14により制御された位相信号13を入力とし、画像信号B-B 12から計算された位相値を記録しておき、位相信号B-B 18として出力する。

【0263】絶対位相決定手段A-A/B-A 215は、位相信号A-A 15と位相信号B-A 17を入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A (A-A/B-A) 20、絶対位相信号B-A (A-A/B-A) 21として出力する。

【0264】絶対位相決定手段A-B/B-B 219は、位相信号A-B 16と位相信号B-B 18を入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-B (A-B/B-B) 28、絶対位相信号B-B (A-B/B-B) 29として出力する。

【0265】以上二つの絶対位相決定手段については、光投射手段が一つ、カメラが二つの組における絶対位相の決定であるため、前記第1の実施例で説明したように、絶対位相決定手段と全く同じ手続きにより処理することが可能である。

【0266】絶対位相決定手段A-A/B-B 216は、位相信号A-A 15と位相信号A-B 16を入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A (A-A/B-B) 22、絶対位相信号A-B (A-A/B-B) 23として出力する。

【0267】絶対位相決定手段B-A/B-B 220は、位相信号B-A 17と位相信号B-B 18を入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号B-A (B-A/B-B) 30、絶対位相信号B-B (B-A/B-B) 31として出力する。

【0268】以上二つの絶対位相決定手段については、光投射手段は二つ、カメラが一つの組における絶対位相の決定であるため、第2の実施例で述べた絶対位相決定手段と全く同じ手続きにより処理することが可能である。

【0269】絶対位相決定手段A-A/B-B 217は、位相信号A-A 15と位相信号B-B 18を入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-A (A-A/B-B) 24、B-B (A-A/B-B) 25として出力する。

【0270】絶対位相決定手段A-B/B-A 218は、位相信号A-B 16と位相信号B-A 17を入力として、絶対位相が決定可能な画素位置について絶対位相値を決定し、絶対位相信号A-B (A-B/B-A) 26、B-A (A-B/B-A) 27として出力する。

【0271】図10は、絶対位相決定方法を説明するための図である。光投射手段A 201で光パターンを投射してカメラA 203により撮影した画像A (光パターンA) 131と、光投射手段B 202で投射してカメラB 204により撮影した画像B (光パターンB) 132には、それぞれ画像A (光パターンA) 上の物体133・画像B (光パターンB) 上の物体134が撮影されている。

【0272】画像A (光パターンA) 上の物体134中の一点、点P 119の三次元座標位置は、光投射手段A 201から投射される光パターンの位相を $-\pi$ から π までに折り畳んだときに同一の位相値となる空間的な位置として、図10(c)に示した通りP₁122、P₁123、P₁124のように離散的となり求められる。

【0273】点P_iをカメラB 204から見たときの各点P_i (i=1,2,3)は、光投射手段B 202から投射される光パターンの位相から、それぞれ点、Q^j_k (j, k=1, 2, 3) 135~143となる。点P_iと点Q^j_kとの三次元座標位置が一致する点が唯一であれば、点Pを唯一に定めることができる。これにより点Pについて三次元座標位置が決定可能となり、故に投射している絶対位相を決定することができる。三次元座標位置の一致は、式(13)が真となることにより判定できる。但しここで ε は、あらかじめ与えられた閾値であるとする。

$$|P_i - Q_k^j| \leq \varepsilon \quad \dots(13)$$

【0274】以上の絶対位相決定処理を画像A(光パターンA)131上全ての点について繰り返すことにより、画像A(光パターンA)131、B(光パターンB)132においてそれぞれ複数画素の絶対位相が決定できる。

【0275】絶対位相決定手段A-A/B-B217は、画像A(光パターンA)131上の絶対位相決定画素とその絶対位相を絶対位相信号A-A(A-A/B-B)24として、また画像B(光パターンB)132については絶対位相信号B-B(A-A/B-B)25として出力する。

【0276】同様に絶対位相決定手段A-B/B-A218は、画像A(光パターンB)上の絶対位相決定画素とその絶対位相を絶対位相信号A-B(A-B/B-A)26として、また画像B(光パターンA)については絶対位相信号B-A(A-B/B-A)27として出力する。これにより、従来法では自動処理が困難であった絶対位相の決定、即ち絶対的な三次元形状計測が可能となる。

【0277】絶対位相変換手段221は、三次元座標計算制御信号33により切り替えられる位相信号と絶対位相信号とを入力とし、絶対位相信号を参照しながら、位相信号中の絶対位相が得られていない画素位置の位相値を、前記第1の実施例におけるものと同様に、絶対位相へと変換してゆく。

【0278】入力は、位相信号A-A15と、絶対位相信号A-A(A-A/B-A)20、A-A(A-A/A-B)22、A-A(A-A/B-B)24、位相信号A-B16と、絶対位相信号A-B(A-A/A-B)23、A-B(A-B/B-A)26、A-B(A-B/B-B)28、位相信号B-A17と、絶対位相信号B-A(A-A/A-B)21、B-A(A-B/B-A)27、B-A(B-A/B-B)30、位相信号B-B18と、絶対位相信号B-B(A-A/B-B)25、B-B(A-B/B-B)29、B-B(B-A/B-B)31の各組であり、絶対位相が得られている画素は、全ての絶対位相信号の論理積により判定し、絶対位相変換信号32として出力する。これにより従来困難であった自動的な位相接続処理が安定に実現可能となる。

【0279】三次元座標変換手段222は、絶対位相変換信号32と三次元座標計算制御信号33とを入力とし、位相信号A-A15から求めた絶対位相であるならば光投射手段A201、カメラA203の位置関係や内部構成に応じたパラメータにより三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。同様に位相信号A-B16から求めた絶対位相であるならば、光投射手段B202、カメラA203の位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。位相信号B-A17から求めた絶対位相であるならば、光投射手段A201、カメラB204の位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。

【0280】位相信号B-B18から求めた絶対位相で

あるならば、光投射手段B202、カメラB204の位置関係や内部構成に応じたパラメータを用いて、三次元座標値へと変換し、三次元座標信号34として出力する。

【0281】三次元座標記憶手段A-A223は、三次元座標変換手段222で得られた光投射手段A201とカメラA203の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時三次元座標信号A-A35として出力する。

【0282】三次元座標記憶手段A-B224は同様に、光投射手段B202とカメラA203の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時三次元座標信号A-B36として出力する。

【0283】三次元座標記憶手段B-A225は、光投射手段A201とカメラB204の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時三次元座標信号B-A37として出力する。

【0284】三次元座標記憶手段B-B226は、光投射手段B202とカメラB204の組による三次元形状情報を記憶しておき、随時三次元座標信号B-B38として出力する。

【0285】三次元座標合成手段226は、三次元座標信号A-A35、A-B36、B-A37、B-B38を入力とし、4つの形状情報を合成して、合成三次元座標信号39として出力する。これにより死角を低減した三次元形状計測結果を得ることができる。

【0286】本実施例において、光投射手段A201、B202や、カメラA203、B204について、前記第1の実施例と同様に構成を変更してもよい。位相のシフト量として $2\pi/4$ 、撮影回数を4回、位相計算法を式(6)で行う例を説明したが、第1、第2の実施例と同様に、位相値が計算できさえすればよい。第1、第2の実施例と同様に、位相計算手段210において、正弦波の振幅A(x)を計算し、あらかじめ設定した閾値よりも振幅の大きい、即ち信頼度の高い位相値のみを出力するようにしてもよい。

【0287】絶対位相決定手段A-A/B-A215、A-B/B-B219では、前記第1の実施例における絶対位相決定手段と同様に構成を変更してもよい。同様に絶対位相決定手段A-A/A-B216、B-A/B-B220でも、前記第2の実施例と同様に変更しても、本発明を構成することができる。

【0288】絶対位相決定手段A-A/B-B217では、画像A(光パターンA)131上の点Pにおける、点P、($i=1,2,3$)122~124と、幾何的に対応する画像B(光パターンB)132上の点Q^j、135~143との三次元座標値が一致する点が一意に決定できるかどうかを判定するとし、画像A(光パターンA)131と画像B(光パターンB)132の役割を逆転してもよい。更に両方を組み合わせることで、絶対位相決定をより信頼性高く行なうこともできる。一致判定は、上式(13)以外にも、三次元座標値を比較する方法であればよい。絶対位相決定手段A-B

/B-A 218についても同様である。

【0289】絶対位相変換手段221では、前記第1、第2の実施例と同様に構成を変更してもよい。また入力として、位相信号A-A 15と絶対位相信号A-A(A-A/B-A) 20、A-A(A-A/A-B) 22、A-A(A-A/B-B) 24、位相信号A-B 16と絶対位相信号A-B(A-A/A-B) 23、A-B(A-B/B-A) 26、A-B(A-B/B-B) 28、位相信号B-A 17と絶対位相信号B-A(A-A/A-B) 21、B-A(A-B/B-A) 27、B-A(B-A/B-B) 30、位相信号B-B 18と絶対位相信号B-B(A-A/B-B) 25、B-B(A-B/B-B) 29、B-B(B-A/B-B) 31の各組について処理しているが、必要な組だけ処理するようにしてもよい。

【0290】また絶対位相信号は3つを組にして論理積により利用するとしたが、論理和でもよい。更に3つではなく必要なだけ利用するとしてもよい。

【0291】また、第3の実施例では、カメラ・光投射手段が共に二つとして説明したが、両者とも3つ以上いくつあってもよい。また両者が同じ数でなくてもよい。

【0292】また第3の実施例において、投射する光パターンが正弦波からずれていたり、微小なずれ自体が問題となるような高精度な計測が必要な場合には、理想的な位相と格子周期との関係式(9)からのずれを補正するように、図15、図16、図17を参照して説明した手法を利用して、本発明を実施することができる。

【0293】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、位相シフト法に基づく三次元形状計測装置において、一つ以上の光源とカメラを組み合わせるることによって従来解決できなかった、(1)死角の問題、(2)絶対位相値の決定、(3)確実な位相接続処理、を自動で実行することが可能になり、実用的な三次元形状計測装置を実現することができる。

【0294】また本発明によれば、(4)理想的な正弦波や三角波からの光パターンからのずれ補償を可能とし、計測装置の機械工作精度などに対する要求を緩くしより廉価な構成や、更なる高精度計測性能を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施例における測定の様子を説明するための図である。

【図3】本発明の第1の実施例における絶対位相決定方法を説明するための図である。

【図4】本発明の第1の実施例において得られた絶対位相値を基にして、全体での位相値の絶対値を求める方法を説明する図である。

【図5】本発明の第2の実施例の構成を示すブロック図

である。

【図6】本発明の第2の実施例における測定の様子を説明するための図である。

【図7】本発明の第2の実施例における絶対位相決定方法を説明するための図である。

【図8】本発明の第3の実施例の構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第2の実施例における測定の様子を説明するための図である。

【図10】本発明の第3の実施例における絶対位相決定方法を説明する図である。

【図11】従来の三次元形状計測装置における測定の様子を説明するための図である。

【図12】計測した位相画像の一例を示す図である。

【図13】絶対位相値から三次元座標への変換を説明する図である。

【図14】絶対位相値が不明であるときの問題点を説明する図である。

【図15】本発明の一実施例を説明するための図であり、計測位相値を参照して光パターンの理論値からのずれを補正する手法を説明するための図である。

【図16】本発明の一実施例を説明するための図であり、計測位相値を参照して光パターンの理論値からのずれを補正して絶対位相を求めるずれ補正付絶対位相決定手段の構成を示すブロック図である。

【図17】本発明の一実施例を説明するための図であり、計測位相値を参照して光パターンの理論値からのずれを補正して三次元座標位置を求めるずれ補正付三次元座標変換手段の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

1 光投射手段A制御信号

2 光投射手段B制御信号

3 カメラA制御信号

4 カメラB制御信号

5 カメラA出力信号

6 カメラB出力信号

7 カメラA出力制御信号

8 カメラB出力制御信号

9 画像信号A-A

10 画像信号A-B

11 画像信号B-A

12 画像信号B-B

13 画像信号制御信号

14 位相計算制御信号

15 位相信号A-A

16 位相信号A-B

17 位相信号B-A

18 位相信号B-B

19 絶対位相計算制御信号

20 絶対位相信号A-A(A-A/B-A)

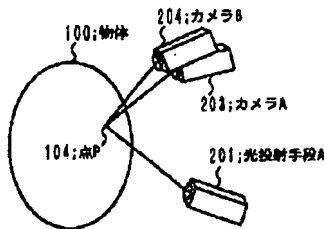
21 絶対位相信号B-A ($A-A/B-A$)
 22 絶対位相信号A-A ($A-A/A-B$)
 23 絶対位相信号A-B ($A-A/A-B$)
 24 絶対位相信号A-A ($A-A/B-B$)
 25 絶対位相信号B-B ($A-A/B-B$)
 26 絶対位相信号A-B ($A-B/B-A$)
 27 絶対位相信号B-A ($A-B/B-A$)
 28 絶対位相信号A-B ($A-B/B-B$)
 29 絶対位相信号B-B ($A-B/B-B$)
 30 絶対位相信号B-A ($B-A/B-B$)
 31 絶対位相信号B-B ($B-A/B-B$)
 32 絶対位相交換信号
 33 三次元座標計算制御信号
 34 三次元座標信号
 35 三次元座標信号A-A
 36 三次元座標信号A-B
 37 三次元座標信号B-A
 38 三次元座標信号B-B
 39 合成三次元座標信号
 40 選択画素位相信号A
 41 選択画素位相信号B
 42 基準位相・座標信号A-A
 43 基準位相・座標信号B-A
 44 基準位相・座標信号A-A
 45 基準位相・座標信号B-A
 46 候補座標群信号A-A
 47 候補座標群信号B-A
 48 候補画素位置群信号A-A
 49 候補画素位置群信号B-A
 50 絶対位相変換信号A-A
 51 基準位相・座標信号A-A
 52 三次元座標信号A-A
 100 物体
 101 光源
 102 格子
 103 カメラ
 104 点P
 105 位相画像
 106 レンズ中心
 107 スクリーン
 108 物体表面A
 109 物体表面B
 110 物体表面C
 111 視線A
 112 視線B
 113 絶対位相 α 方向
 114 絶対位相 $\alpha+2\pi$ 方向
 115 絶対位相 $\alpha+4\pi$ 方向
 116 絶対位相 $\alpha+6\pi$ 方向
 117 画像A

118 画像B
 119 画像A上の物体
 120 画像B上の物体
 121 点P
 122 点 P_1
 123 点 P_2
 124 点 P_3
 125 絶対位相画像A
 126 絶対位相決定済画素群
 10 127 画像A (光パターンA)
 128 画像A (光パターンB)
 129 画像A (光パターンA)上の物体
 130 画像A (光パターンB)上の物体
 131 画像A (光パターンA)
 132 画像B (光パターンB)
 133 画像A (光パターンA)上の物体
 134 画像B (光パターンB)上の物体
 135 点 Q'^1
 136 点 Q'^2
 20 137 点 Q'^3
 138 点 Q'^4
 139 点 Q'^5
 140 点 Q'^6
 141 点 Q'^7
 142 点 Q'^8
 143 点 Q'^9
 144 較正位置A
 145 較正位置B
 146 較正位置C
 30 147 較正位置D
 148 視線方向P
 149 点RPA
 150 点RPB
 151 点RPC
 152 点RPD
 200 三次元形状計測装置
 201 光投射手段A
 202 光投射手段B
 203 カメラA
 40 204 カメラB
 205 光投射手段・カメラ制御手段
 206 画像記憶手段A-A
 207 画像記憶手段A-B
 208 画像記憶手段B-A
 209 画像記憶手段B-B
 210 位相計算手段
 211 位相記憶手段A-A
 212 位相記憶手段A-B
 213 位相記憶手段B-A
 50 214 位相記憶手段B-B

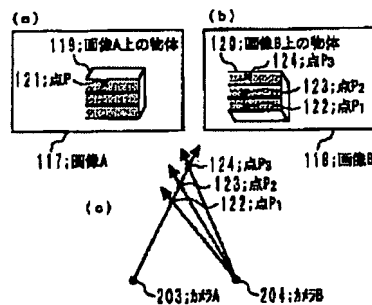
- 215 絶対位相決定手段A-A/B-A
- 216 絶対位相決定手段A-A/A-B
- 217 絶対位相決定手段A-A/B-B
- 218 絶対位相決定手段A-B/B-A
- 219 絶対位相決定手段A-B/B-B
- 220 絶対位相決定手段B-A/B-B
- 221 絶対位相交換手段
- 222 三次元座標交換手段
- 223 三次元座標記憶手段A-A
- 224 三次元座標記憶手段A-B
- 225 三次元座標記憶手段B-A
- 226 三次元座標記憶手段B-B
- 227 三次元座標合成手段
- 231~235 スイッチ
- 241~247 スイッチ
- 250 三次元形状計測装置
- 251 光投射手段・カメラ制御手段

- * 252 三次元形状計測装置
- 253 光投射手段・カメラ制御手段
- 254 ずれ補正付絶対位相決定手段A-A/B-A
- 255 画素位置スキャン手段A
- 256 画素位置スキャン手段B
- 257 最近傍テーブル参照手段A-A
- 258 最近傍テーブル参照手段B-A
- 259 LUT A-A
- 260 LUT B-A
- 10 261 内挿手段 A-A
- 262 内挿手段 B-A
- 263 対応画素位置交換手段A
- 264 対応画素位置交換手段B
- 265 同一位相値判定手段A
- 266 同一位相値判定手段B
- 267 ずれ補正付三次元座標値交換手段
- * 268 最近傍テーブル参照手段A-A

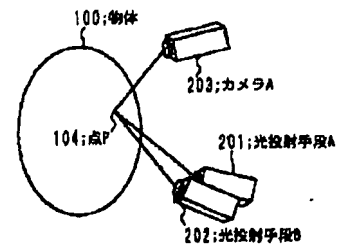
【図2】



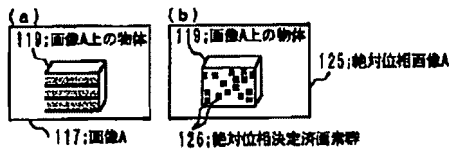
【図3】



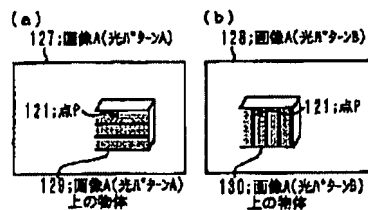
【図6】



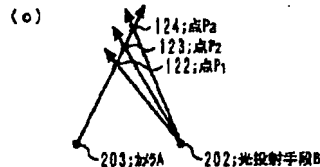
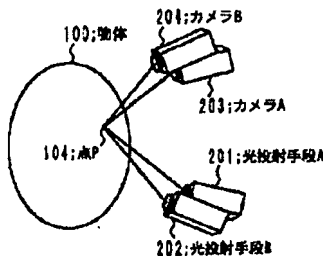
【図4】



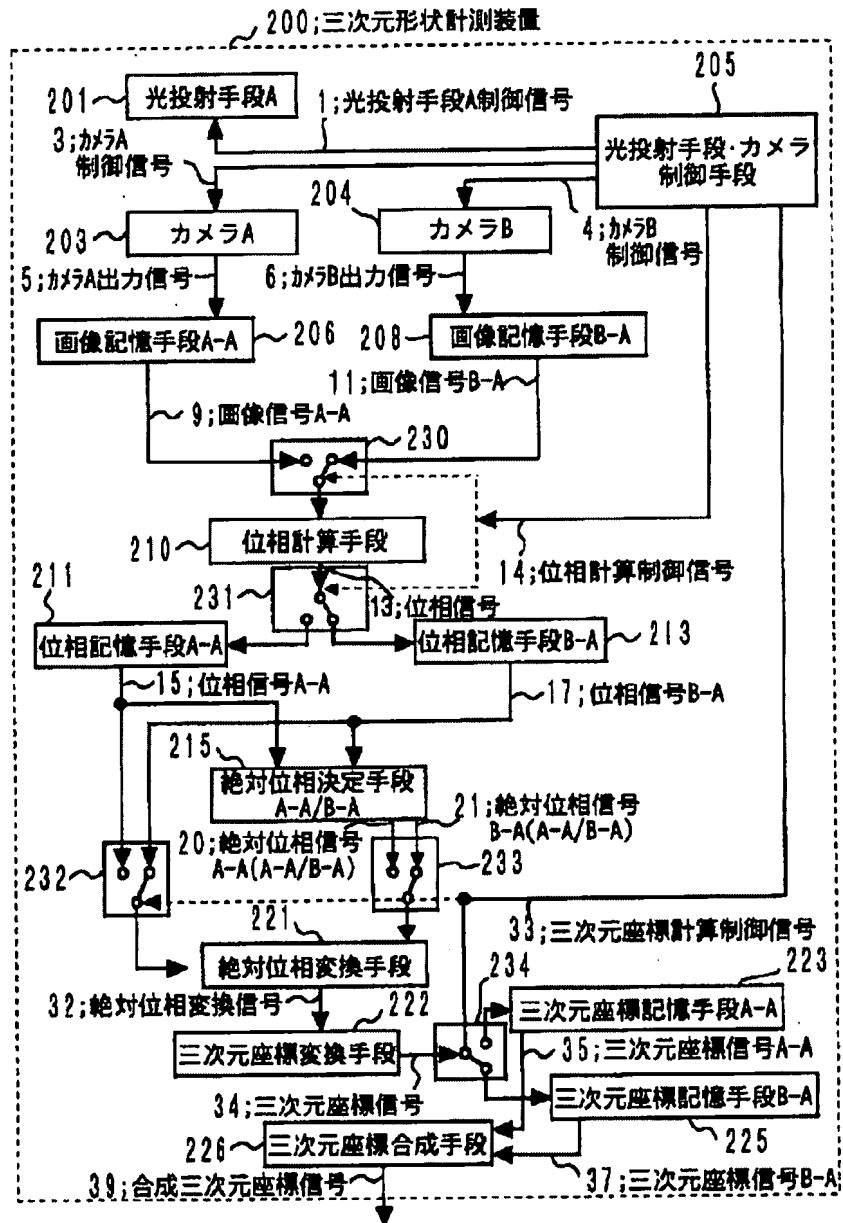
【図7】



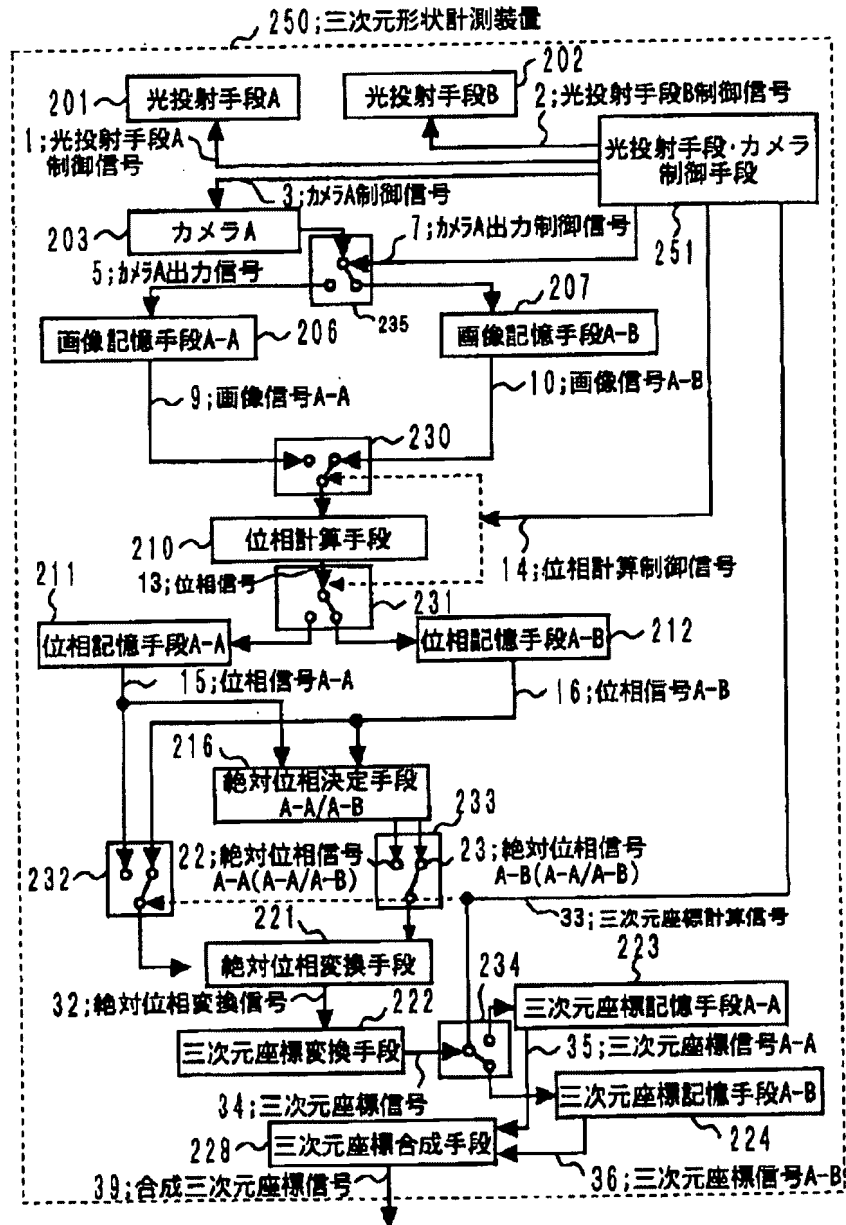
【図9】



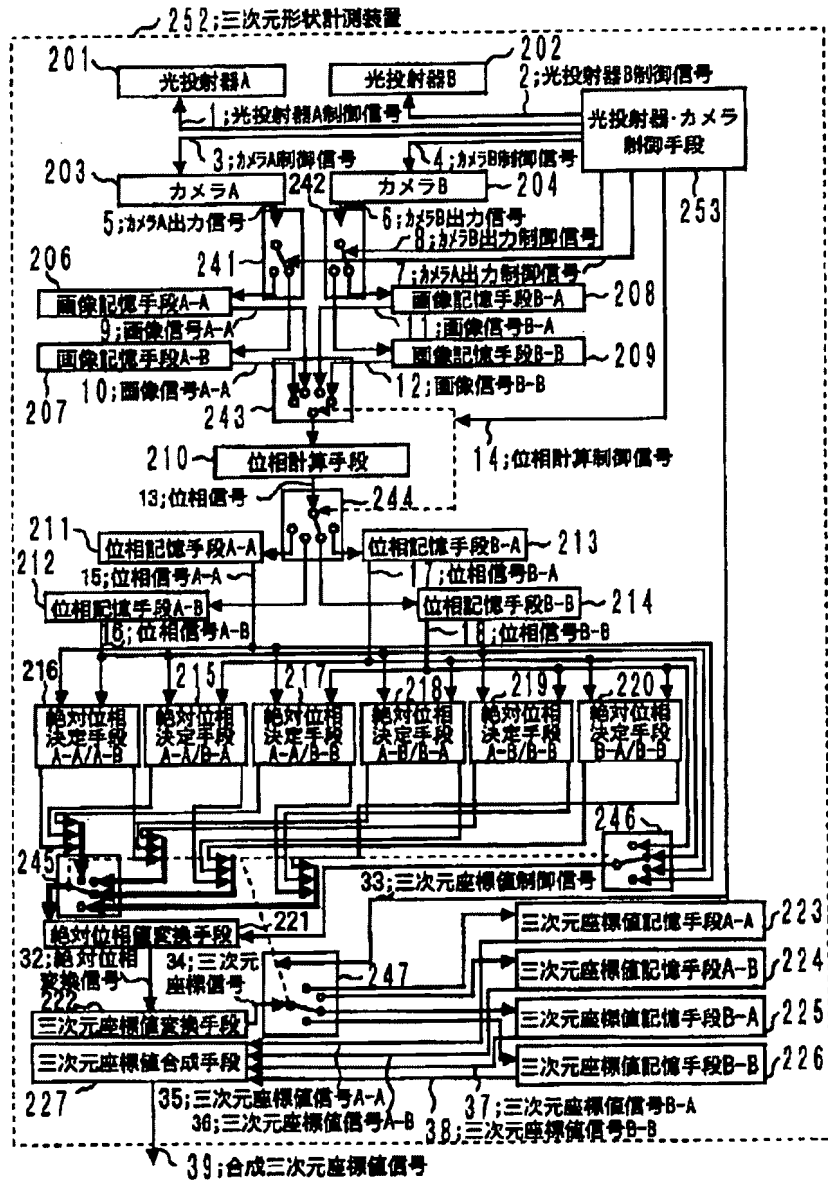
【図1】



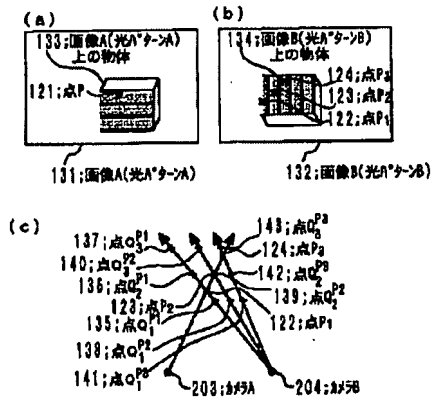
【図5】



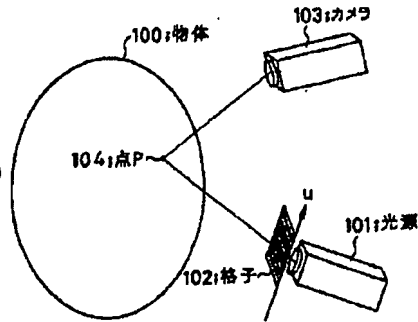
【図8】



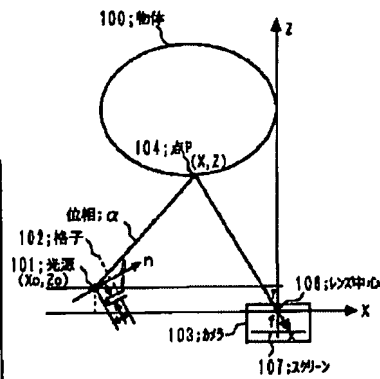
【図10】



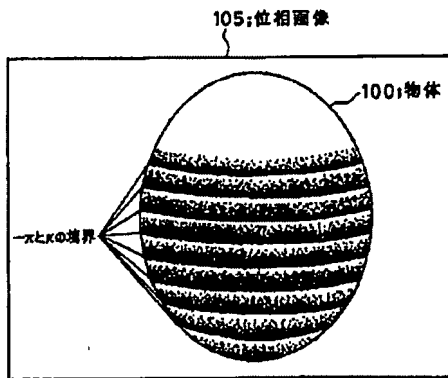
【図11】



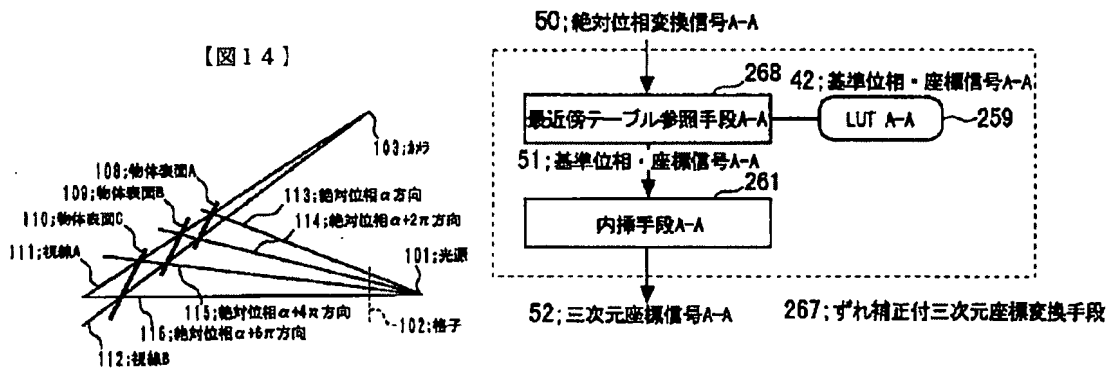
【図13】



【図12】

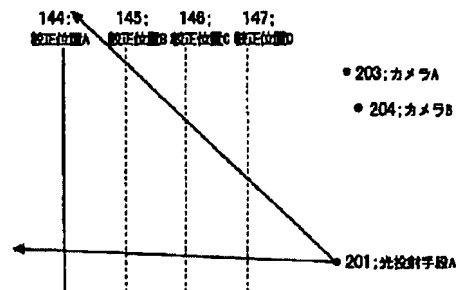


【図17】

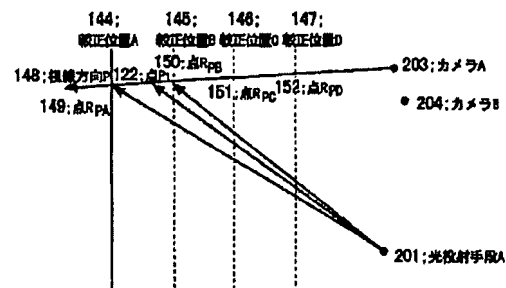


【図15】

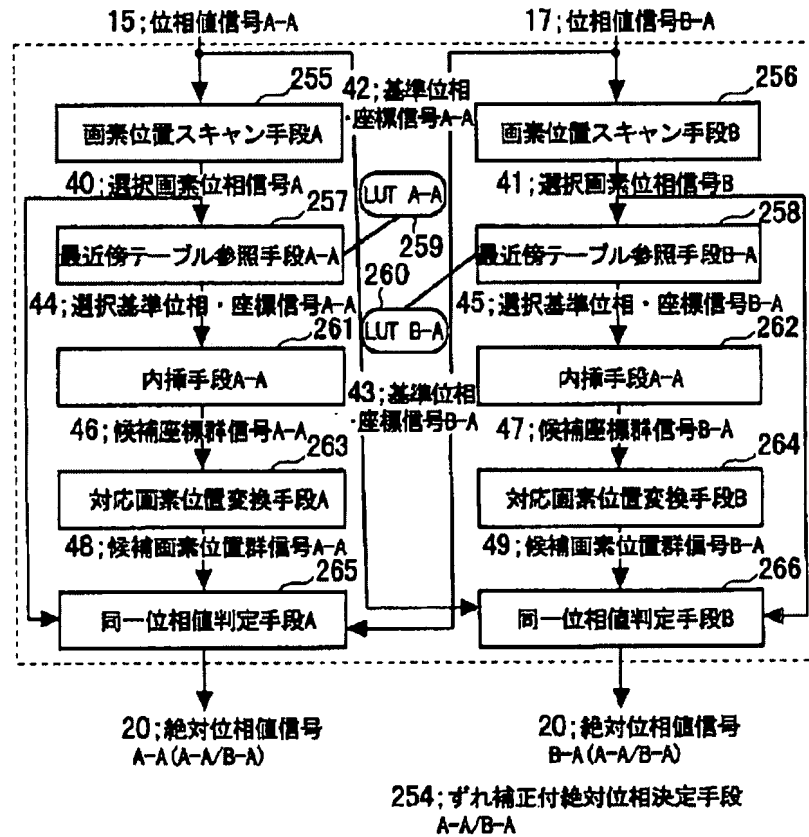
(a)



(b)



【図16】



フロントページの続き

F ターム (参考) 2F065 AA04 AA51 DD06 EE00 FF05
 FF06 FF42 FF61 HH06 HH07
 HH14 JJ03 JJ05 JJ19 JJ26
 LL41 MM22 NN11 QQ00 QQ23
 QQ24 QQ25 QQ26 QQ28
 5B057 BA01 CA08 CA12 CA16 CB08
 CB13 CB16 CC01 CD14 CE02
 CE06 CH08 CH09 DB02 DB09
 DC30 DC36